

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Инженерная школа – Неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки машиностроение 15.04.01
Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование технологических свойств процесса сварки дугой горящей в динамическом режиме

УДК 621.791.75.053-04

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Тясто Артём Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.Ф.Князьков	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.Г.Данков	к.и.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	И.Л.Мезенцева	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01. Машиностроение. Машины и технологии сварочного производства.	С.Ф. Гнусов	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Инженерная школа – Неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки машиностроение 15.04.01
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Рук. ООП Машиностроение 15.04.01
_____ С.Ф.Гнюсов

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
IBM61	Тясто Артёму Андреевичу

Тема работы:

Исследование технологических свойств процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.10.2016г. №8896/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение 2. Литературный обзор состояния вопроса сварки неплавящимся электродом в аргоне 3. Модель дуги горячей в динамическом режиме 4. Разработка модели сварочной ванны 5. Экспериментальная часть 6. Менеджмент 7. Социальная ответственность 8. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Название темы, цель, задачи

	2. Известные способы повышения эффективности 3. Сварочная дуга в динамическом режиме 4. Модель сварочной ванны 5. Экспериментальная установка 6. Технологические характеристики процесса 7. Менеджмент и социальная ответственность 8. Выводы по работе
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
1-5	Князьков Анатолий Федорович
6	Данков Артем Георгиевич
7	Мезенцева Ирина Леонидовна
	Игна Ольга Николаевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор состояния вопроса сварки неплавящимся электродом в аргоне
-
-

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Князьков Анатолий Федорович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Тясто Артём Андреевич		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

Реферат

Выпускная квалификационная работа 97 с., 21 рис., 20 табл., 37 источника.

Ключевые слова: сущность сварки дугой горячей в динамическом режиме, столб дуги, способ сварки корневого слоя, динамическая дуга, автоматическая сварка.

Объектом исследования является: процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне.

Предмет исследования – сварочная дуга горящая в динамическом режиме на постоянном токе.

Цель работы – является исследование и разработка процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме.

В процессе исследования проводился анализ методов повышения эффективности и способы сварки неплавящимся электродом с применением импульсного питания сварочной дуги, проведен анализ моделей столба дуги и предложено феноменологическое описание дуги.

В результате исследования разработан способ сварки дугой горячей в динамическом режиме и оборудование обеспечивающее его реализацию.

Основные конструктивные, технологические и технико – эксплуатационные характеристики: простое в изготовлении и эксплуатации оборудование, имеющий высокую надежность и широкий диапазон регулирования сварочных параметров.

Область применения: данный способ сварки может применяться в разных отраслях: нефтяной, газовой, электрической промышленности, а также в коммунальном, сельском хозяйстве и кораблестроении.

Экономическая эффективность: сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В будущем планируется минимизировать конструкцию сварочного аппарата. Запатентовать данный способ сварки. Подготовить документацию по сборке сварочного аппарата, аттестовать его в национальном агентстве контроля сварки и внедрить его в промышленность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и графическом редакторе Компас 3DV15.

Диск CD-R с графическим материалом на обороте обложки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ, СОКРАЩЕНИЕ И НОРМАТИВНЫЕ СЫЛКИ

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Собственное магнитное поле – это круговое магнитное поле тока, возникающее при прохождении тока по элементам сварочной цепи, в том числе и по основному металлу.

Импульсное питание – подача импульсов тока с высокой величиной и частотой.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- НРБ-99/2009 – Нормы радиационной безопасности.
- ГОСТ 2.708 – 81 – ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.730 – 73 – ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
- ГОСТ 2.728–74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы.
- ГОСТ 2.725–68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.

В настоящей работе использованы следующие сокращения.

- I_d - ток дуги.
- Др – дроссель.
- ИП - сварочный источник питания.
- U_d – напряжение на дуге.
- $I_{св}$ – сварочный ток.
- U_{∂} – полное напряжение дуги.
- U_a – падение напряжения на аноде.
- U_k – падение напряжения на катоде.
- $\beta I_{(\partial)}$ – падение напряжения столба.
- T – период собственного колебания ячейки.
- L – индуктивность дросселя первой ячейки.
- C – емкость конденсатора первой ячейки.
- t_b – полная длительность второго этапа.
- $t_{и}$ – полная длительность импульса.
- t_c – длительность среза импульса.
- t_{ϕ} – длительность фронта импульса.
- k – количество ячеек формирующего элемента.
- E_d – ЭДС сварочной дуги.
- R_d – динамическое сопротивление сварочной дуги.
- ВАХ – вольт амперная характеристика.
- H – глубина сварочной ванны.
- B – ширина сварочной ванны.
- L – длина сварочной ванны.
- F – поверхность зеркала ванны.
- G – масса сварочной ванны.
- V – объем сварочной ванны.
- $L_{гол}$ – головную часть ванны.
- $L_{хвост}$ – хвостовая часть ванны.
- $I_{и}$ – ток импульса.

- I_{Π} – ток паузы.
- $V_{\text{св}}$ – скорость сварки.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ	15
1.1 Описание процесса сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов	15
1.2 Достоинства и недостатки аргонодуговой сварки неплавящимся электродом в аргоне	17
1.3 Статическая устойчивость энергетической системы источник питания - дуга.	18
1.4 Методы повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом	22
1.5 Характеристика источник питания – дуга	25
1.6 Динамический режима горения дуги на постоянном токе.....	27
Заключение.	29
2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ДУГИ ГОРЯЩЕЙ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ	31
2.1 Цилиндрическая модель дуги.....	33
2.2 Конусообразная модель дуги.....	34
2.3 Модель дуги горящей между неплавящимся электродом и плавящимся изделием	37
2.4 Феноменологическая модель динамической дуги	38
Вывод по главе	46
3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ	47
3.1 Образование сварочной ванны и ее характеристики	47
3.2 Анализ моделей сварочных ванн	49
Вывод по главе	50
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	51
4.1 Лабораторные исследования	52
4.2 Оценка работоспособности вольфрамовых электродов	56
Вывод по главе	58
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	60

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	60
5.2 Анализ конкурентных технических решений	61
5.3 SWOT – анализ	62
5.4 Структура работ в рамках научного исследования	64
5.5 Определение трудоемкости выполнения работ	65
5.6 Разработка графика проведения научного исследования	66
5.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	70
5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	74
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	79
6.1 Производственная безопасность.....	80
6.2 Экологическая безопасность.....	90
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	97
ПРИЛОЖЕНИЕ А	100

CD диск в конверте на обороте обложки

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ. На сегодняшний день актуальной задачей является повышение эффективности и улучшение качества производимых металлоконструкций. Одним из путей решения данной задачи можно выделить – разработку и внедрение технологических процессов и оборудования, отвечающих мировым стандартам (автоматизированные и роботизированные системы, гибкость управления).

Среди технологических способов получения неразъемного соединения металлоконструкций различного назначения сварка занимает лидирующее положение. Перспективным направлением считается развитие автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом корневого слоя многослойного шва и изделий малых толщин. Данный способ позволяет получать с минимальными затратами в цеховых или монтажных условиях неразъемные соединения, идентичные основному металлу по химическому составу, механическим и служебным свойствам. По мобильности и экономичности составляет конкуренцию электронно-лучевым и лазерным способам соединения.

Несмотря на достоинства процесса сварки, неплавящимся электродом в аргоне производительность желает оставлять лучшего. Поэтому существует тенденции разработки мероприятий повышающих эффективность этого процесса. Известны методы повышения эффективности внутренние и внешние, которые в какой-то степени улучшают процесс и повышают его производительность, но имеются существенные трудности в их практическом применении. В частности их применение затруднительно при сварке корневых слоев, при сварки в разделке, при сварке с изменяющим пространственным положением, так как внутренние методы управления не обеспечивают активное управление процессом, а внешние методы управления реализуются достаточно громоздкими устройствами.

Исследования проведенные автором в СКБ «Электросварка» показали перспективность применения процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме. При этом существенно повышаются эффективность процесса и регулировочные возможности, позволяющие активно управлять формированием шва. Проблеме улучшения технологических характеристик электрической дуги неплавящимся электродом, горячей в аргоне уделяется много внимания. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы считается сжатие дуги, за счет перевода ее в динамический режим горения. Данный перевод осуществляется за счет протекания через дуговой промежуток кратковременных мощных униполярных импульсов тока, большого амплитудного значения.

Исследованиями по изучению динамического режима горения дуги в свое время занимались многие ученые, такие как Пентегов И.В., Славин Г.А., Лебедев В.К. и т.д. В их работах показано влияние динамического режима на геометрические размеры шва, структуру, обоснована длительность импульсов, представлены математические зависимости. Но в их работах не освещены вопросы технической реализации процесса сварки и не составлены технологические рекомендации.

В виду с этим в работе проведен анализ современного состояния вопроса сварки дугой горячей в динамическом режиме. Разработан процесс и техническое устройство позволяющее повысить эффективность сварки неплавящимся электродом в аргоне.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование и разработка процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ – процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ – способ сварки дугой горячей в динамическом режиме неплавящимся электродом униполярными импульсами на постоянном токе.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА проведенного магистерского исследования:

1. Теоретически обоснована и практически подтверждена возможность качественного формирования сварного шва дугой горячей в динамическом режиме обеспечивающие концентрированное тепловложение.

2. Установлено, что между толщиной изделия и величиной дежурного тока существует прямо пропорциональная зависимость для качественного формирования шва дугой горячей в динамическом режиме.

3. Установлено, что при различной геометрии торца электрода соблюдается физическая устойчивость горения дуги.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.

Разработан процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ. Результаты исследования использованы для разработки импульсной системы питания для сварки дугой горячей в динамическом режиме.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты данной работы представлены на семинарах кафедры «Оборудования и технологии сварочного производства», и на конференциях Всероссийского, Областного уровня.

ПУБЛИКАЦИИ. Материалы данной работы опубликованы в 5 работах. 1) Тясто А. А., Радионов И. И., Пустовых (Бирюкова) О. С. Выбор системы питания для дуги горячей в динамическом режиме // Наука. Технологии. Инновации.: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых в 11 частях. Часть 3, Новосибирск, 2-6 Декабря 2014. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 - С. 26-30 [1352312-2014]. 2) Тясто А. А. , Радионов И. И. , Пустовых (Бирюкова) О. С. Повышение эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне // Наука. Технологии. Инновации.: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых в 11 частях. Часть 3, Новосибирск, 2-6 Декабря 2014. - Новосибирск:

Изд-во НГТУ, 2014 - С. 30-34 [1352412-2014]. 3) Тясто А. А., Шачек А. Л., Пустовых (Бирюкова) О. С. Система питания для дуги, горящей в динамическом режиме // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 147-151 [950210-2015].

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ

На сегодняшний день в критериях все возрастающих требований к качеству сварочного изделия проблема выбора сварочного оснащения и метода сварки всевозможных металлов становится все более актуальной. Гарантированное сплавление кромок свариваемых элементов не может считаться единым аспектом при выборе такого или же другого метода сварки. Нужно уделять особое внимание таким характеристикам как производительность, химический состав металла шва, размеры зоны теплового воздействия, понижение общих производственных расходов и пр.

Из имеющихся процессов сварки эффективным и перспективным является процесс сварки неплавящимся электродом в среде аргона.

1.1 Описание процесса сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов

Сущность способа сварки в защитных газах заключается в том, что дуга горит в потоке защитного газа, оттесняющего воздух из зоны сварки и защищающего расплавленный металл от вредного воздействия газов, содержащихся в атмосфере.

В качестве защитного газа используют инертные газы: аргон и гелий, а также активные газы и смеси газов: водород, смесь водорода и азота, углекислый газ, смесь аргона и углекислого газа, смесь аргона и кислорода. Защитный газ выбирают в зависимости от свариваемых материалов.

Сваривать в защитных газах можно плавящимся или же неплавящимся электродом. При сварке плавящимся электродом электрическая дуга горит между электродной проволокой, подаваемой в зону сварки, и изделием. Дуга расплавляет электродную проволоку и основной металл. При сварке неплавящимся электродом электрическая дуга горит

между неплавящимся угольным или же вольфрамовым электродом и изделием. Далее мы подробнее рассмотрим процесс сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов.

При сварке неплавящимся электродом в защитном газе в зону дуги, горящей между неплавящимся электродом и изделием, через сопло подаётся защитный газ, защищающий неплавящийся электрод и расплавленный основной металл от воздействия активных газов атмосферы, как показано на рисунке 1. Температурой горения дуги расплавляются кромки свариваемого изделия. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, формирует сварной шов.

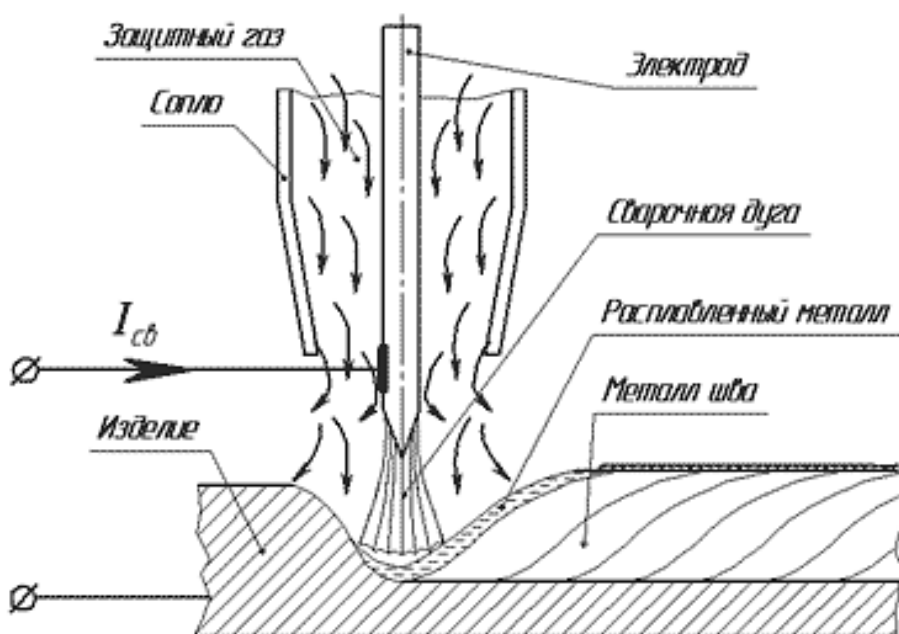


Рисунок 1 – Схема сварки неплавящимся электродом

Неплавящийся электрод производят из графита, вольфрама, меди, меди со вставкой из тугоплавкого металла - вольфрама, циркония, гафния.

Защитный газ должен быть инертен к металлу электрода и к свариваемому металлу. Поток инертного газа окружает зону сварки, защищая расплавленный и нагретый до высокой температуры металл, электрод и присадочный пруток (если последний применяется) от воздействия кислорода и азота воздуха, предупреждая окисление и азотирование металла.

Кроме того, непрерывный поток инертного газа суживает зону распространения тепла вблизи шва. В качестве защитного газа при сварке вольфрамовым электродом применяют аргон, гелий, смесь аргона и гелия; для сварки меди медным электродом или медным электродом со вставкой из гафния (циркония) можно применить азот. Для рационального расходования дорогостоящих инертных газов (Ar, He) при сварке сталей создают комбинированную защиту.

Влияние инертного газа создает особые условия для протекания электро-физических процессов в электрической дуге, способствуя увеличению устойчивости дуги. На электрофизические свойства дуги влияет также материал электрода. Дуга между неплавящимся электродом и изделием характеризуется выпрямляющим действием, интенсивность которого зависит от материала и размеров изделия.

Сварку можно выполнять с присадкой и без нее. В случае применения присадочного металла, последний можно вводить предварительно (до сварки) или в процессе сварки, подобно тому, как это делают при кислородно-ацетиленовой сварке путем расплавления присадочной проволоки нужного состава.

При большой толщине для обеспечения проплавления основного металла и получения требуемых геометрических параметров сварного шва, сварку ведут по зазору или с разделкой кромок с добавлением присадочного металла.

1.2 Достоинства и недостатки аргонодуговой сварки неплавящимся электродом в аргоне

Преимущество аргонодуговой сварки неплавящимся электродом:

- незначительный нагрев поверхности металла;
- сварка цветных металлов;
- использование метода сварки с использованием аргона позволяет

выполнить сварные работы качественно;

- возможность обработки металлов, не поддающихся сварке другим способом;
- качественный ровный и тонкий шов;
- возможность выполнения работ в домашних условиях без профильного образования;
- возможно получение металла шва с долей участия основного металла от 0 до 100%;
- изменяя скорость подачи и угол наклона, профиль, марку присадочной проволоки можно регулировать химический состав металла шва и геометрические параметры сварного шва.

Недостатки аргонодуговой сварки неплавящимся электродом в аргоне:

- низкая эффективность использования электрической энергии (коэффициент полезного действия от 0,40 до 0,55);
- необходимость в устройствах, обеспечивающих начальное возбуждение дуги;
- высокая скорость охлаждения сварного соединения;
- не большое количество дополнительно используемого оборудования;
- низкая производительность;
- невозможность полной защиты шва при сквозняке или сильном ветре.

1.3 Статическая устойчивость энергетической системы источник питания - дуга.

Статическая устойчивость безотносительно рода тока обычно рассмотрена при следующих допущениях:

- сварочная дуга не обладает инерцией;
- источник питания обладает некоторой электромагнитной инерцией, которая обуславливается индуктивностью сварочных проводов и обмоток самого источника.

Система будет устойчивой, если после окончания переходного процесса вызванного каким-либо возмущением, она вновь вернется в прежнее состояние или близкое к прежнему состоянию.

На рисунке 2 представлены внешняя характеристика источника питания $U_u = A(I)$ - кривая 1 и статическая характеристика дуги $U_u = f_2(I)$ - кривая 2.

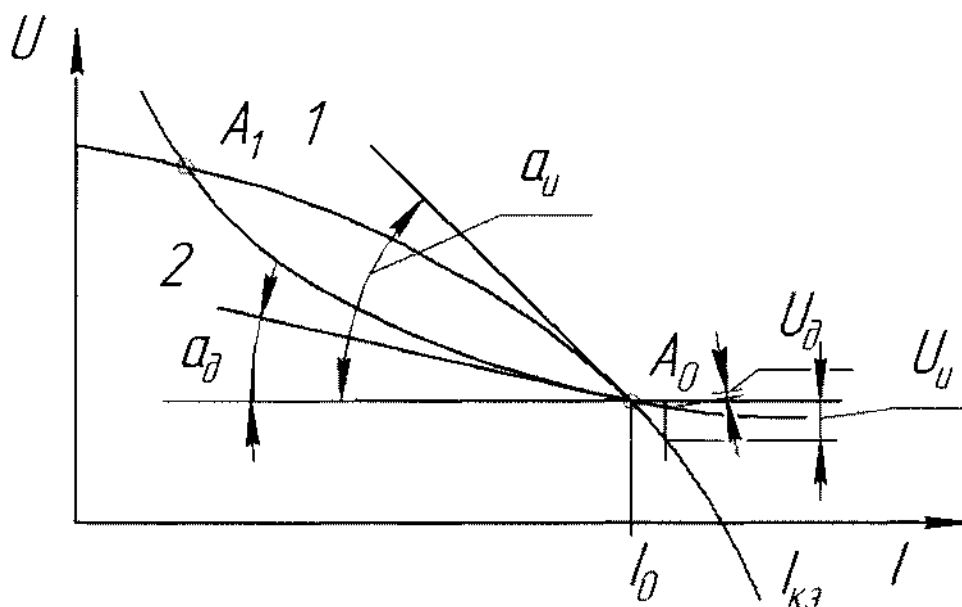


Рисунок 2 – Статические характеристики источника -1 и дуги - 2.

Установившееся состояние системы определяется точками пересечения этих характеристик A_0 и A_1 , в которых ток и напряжение дуги в установившемся состоянии равны току и напряжению источника.

Для определения статической устойчивости режимов в т. A_1 и A_0 необходимо проанализировать поведение системы при малых отклонениях от состояния равновесия.

Анализ проведем относительно точки A_0 , а затем распространим его и на режим в т. А. На рис. приняты следующие обозначения:

$$\begin{cases} a_g = \arctg \rho_g; \\ a_u = \arctg \rho_u; \end{cases} \quad (1)$$

где a_g и a_u - углы наклона касательных в т. A_0 соответственно характеристика дуги и источника.

$$\begin{aligned} \rho_g &= \frac{dU_g}{dI}; \\ \rho_u &= \frac{dU_u}{dI}; \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ_g - динамическое сопротивление дуги, ρ_u - динамическое сопротивление источника.

Пусть, вследствие какого либо возмущения ток увеличился на величину $+\Delta J$, при этом возникает своеобразный дефицит напряжения ΔU . Для поддержания горения дуги требуется большее напряжение, чем обеспечивает источник питания. Поскольку уменьшение напряжения источника ΔU_u , больше чем уменьшение напряжения дуги ΔU_d , то ΔU *определяется* следующим выражением:

$$\Delta U = \Delta U_u - \Delta U_d; \quad (3)$$

Т.к. источник питания обладает индуктивностью L , то в переходном процессе содержит напряжение ΔU будет уравниваться ЭДС самоиндукция и на этапе переходного процесса будет справедливо уравнение:

$$L \frac{d\Delta J}{dI} = \Delta U_u - \Delta U_d; \quad (4)$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_u &= \frac{dU_u}{dJ} = \frac{dU_u}{\Delta J}; \\ \operatorname{tg} \alpha_g &= \frac{dU_g}{dJ} = \frac{dU_g}{\Delta J}; \end{aligned} \quad (5)$$

ΔU_u и ΔU_g определяются как:

$$\begin{aligned} \Delta U_g &= \operatorname{tg} \alpha_g \cdot \Delta J; \\ \Delta U_u &= \operatorname{tg} \alpha_u \cdot \Delta J; \end{aligned} \quad (6)$$

В выражениях (7) заменяем $\operatorname{tg} \alpha_g$ и $\operatorname{tg} \alpha_u$ через динамические сопротивление и подставим выражение (5), в результате получим:

$$L = \frac{d\Delta J}{dt} = \rho_u \cdot \Delta J - \rho_u \Delta J; \quad (7)$$

После преобразований в окончательном виде получим однородное дифференциальное уравнение первого порядка относительно переменной ΔJ , описывающее переходный процесс в системе источника питания - дуга.

$$L = \frac{d\Delta J}{dt} = \Delta J(\rho_u - \rho_g) = 0 \quad (8)$$

Согласно критерию оценки устойчивости САР, системы в которых переходные процессы описываются однородным дифференциальным уравнением первого порядка, будут устойчивые, если положительны коэффициенты левой части уравнения. Следовательно, условие устойчивости можно записать в следующем виде:

$$K_y = \rho_d - \rho_u > 0; \quad (9)$$

где K_y - коэффициент статической устойчивости энергетической системы источник питания - дуга. Решением уравнения (9) будет:

$$I = \Delta J \cdot e^{-\frac{K_y}{L} \cdot t_c}; \quad (10)$$

где $t_c = \frac{L}{K_y}$ постоянная времени системы источник питания дуга.

Система будет находиться в состоянии устойчивого статического равновесия, если малы отклонение тока от заданного значения с течением времени будет уменьшаться. Если это отклонение будет расти, то состояние равновесия системы будет неустойчивым.

В общем виде основное условие устойчивости в следующем виде: коэффициент устойчивости системы при дуговой сварке K_y равный разности производных уравнений статических характеристик дуги и источника питания в рабочей точке, должен быть положительным. Физический смысл этого определения можно формулировать следующим образом: в устойчивой системе источник питания - дуга угол наклона статической характеристики источника питания в рабочей точке к оси токов должен быть больше угла наклона статической характеристики дуги.

Графически для V образной характеристики дуги по областям для

устойчивой системы это можно представить в виде следующих сочетаний характеристики дуги и источника.

При умеренных плотностях тока, в частности при аргоно - дуговой сварке неплавящимся электродом (как в нашем случае) напряжение дуги мало зависит от тока т.е.:

$$\frac{dU_d}{dI} = \rho_d \approx 0; \quad (11)$$

Поэтому часть разрабатываемой системы, питающей дежурную дугу, должна иметь крутопадающую характеристику.

$$\frac{dU_u}{dI} = \rho_u < 0 \quad (12)$$

Это обеспечивает не только устойчивость режима горения дуги, но и ее эластичность и естественное ограничение тока короткого замыкания.

Кроме того при крутопадающей внешней характеристике источника питания отклонения сварочного тока при изменениях длины дуги будет незначительным, что благоприятно сказывается на постоянстве теплового режима и формировании шва.

1.4 Методы повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом

Существует тенденции разработки мероприятий повышающих эффективность процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне, так как производительность желает лучшего.

Известны различные способы повышения эффективности сварки за счет сужения столба дуги и увеличения ее проплавляющей способности. Все их можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние основаны на сужении зоны проводимости вследствие развития окислительно-восстановительных реакций в зоне сварки путем изменения окислительного потенциала защитной среды. Сжатие свободно горящей дуги устанавливается

и поддерживается за счет подачи углекислого газа, кислорода, азота, галоидных соединений в защитную среду (аргон).

Так авторы работ для улучшения формирования шва, повышения механических свойств рекомендуют применять смесь аргона с углекислым газом до 10%. Введение CO_2 позволяет увеличить тепловые характеристики дуги, эффективный КПД, из-за сжатия плазмы столба дуги, что в свою очередь приводит к увеличению давления на сварочную ванну и глубины проплавления при уменьшении ширины шва [2 – 4]. Однако смесь $\text{Ar}+\text{CO}_2$ является окислительной, что негативно сказывается на стойкости вольфрамового электрода [3]. При использовании электродов из чистого вольфрама происходит оплавление рабочей поверхности с формированием капли, ее отрывом и переносом в расплавленную ванну. Применение электродов легированных редкоземельными металлами носит другой характер разрушения. На рабочей поверхности в процессе горения дуги формируется корона и одновременно наблюдается эрозионное разрушение. По мере горения дуги эрозионное разрушение электрода увеличивается и оказывает отрицательное влияние на качество, форму и механические свойства сварного шва. Добавление азота в объеме 3 – 4% от общего количества позволяет снизить содержание водорода в металле шва, а визуальное наблюдение позволяет оценить параметры столба дуги. В сравнении со свободно горящей дугой, дуга, горящая в смеси имеет резко очерченный столб и факел [5]. Превышение процентного содержания азота оказывает влияние на механические свойства сварного шва.

К внутренним методам относят и использование галоидных соединений – активирующих флюсов [6]. Исследованию влияния флюсов на энергетические свойства дуги посвящено значительное число работ [5 – 10 и пр.]. Во всех работах установлено увеличение проплавляющей способности, концентрирование теплового потока, увеличение термического КПД. Применение активирующих флюсов по сравнению с представленными ранее внутренними методами имеет собственные недостатки такие как

дополнительные затраты на изготовление, нанесение и удаление. Кроме этого не редко отдельные компоненты флюсов являются опасными для организма сварщика и требуют осторожного применения.

Общими недостатками всех внутренних методов является то, что они не позволяют управлять вкладываемой в процессе сварки тепловой мощностью, и сложностью в применении (нанесение и удаление флюсов, изготовление смесей газов и т.д.).

Внешние методы основаны на изменении физических параметров дуги путем специальной подготовки поверхности электродов, воздействия внешних магнитных полей, наложения дополнительного высокочастотного напряжения, использования импульсных устройств.

Известно, что наложение высокочастотного напряжения способствует повышению устойчивости дугового разряда, путем обжата столба дуги и повышения концентрации ее тепловой мощности [11]. При наложении высокочастотного напряжения образуется так называемый SKIN-слой, в котором происходит колебательное движение электрических зарядов с частотой, равной частоте наложенного напряжения. Возникающее электрическое поле препятствует радиальному перемещению электронов с катода. В центральной части столба дуги большая концентрация зарядов, способствует увеличению степени ионизации и температуры плазмы, создавая эффект обжата дуги электромагнитным высокочастотным полем. Следствием этого является уменьшение сечения дуги и увеличение мощности столба дуги.

Наложение внешнего продольного или поперечного магнитных полей приводит к взаимодействию движущихся заряженных частиц и собственного магнитного поля дуги. Наложение магнитных полей приводит к сжатию столба дуги, при этом наблюдается увеличение глубины проплавления, уменьшение количества подрезов, исключается провисание обратной стороны шва и улучшается его внешний вид [12 – 15].

Одним из методов выделяют применение модулированного тока. При

импульсно дуговой сварке на дугу накладываются кратковременные импульсы тока, в период которых происходит плавление металла сварочной ванны. Сварочная дуга проникает через всю толщину свариваемой пластины, образуя ванну с кратером типа «замочная скважина». В период паузы происходит снижение сварочного тока, при котором происходит понижение температуры и выравнивание тепла металла сварочной ванны. На конце электрода сохраняется горячее пятно необходимое для стабильного горения дуги. Кристаллизация расплавленного металла происходит во время паузы, при снижении мощности дуги. Величину вводимой в металл энергии можно регулировать двумя способами: изменением длительности импульсов тока. Более простой и надежный способ регулирования процессом по длительности импульса.

Из-за сквозного проплавления основного металла поверхность сварного шва имеет чешуйчатую форму, а из-за концентрированного тепловложения зона термического влияния снижается, что приводит к улучшению механических свойств металла шва.

1.5 Характеристика источник питания – дуга

Источник питания для дуговой сварки и сварочная дуга представляет собой единую энергетическую систему, в которой каждый из них выполняет свои определенные функции, а их характеристики взаимно согласованы. Эта система в общем виде представлена на рисунке 3.

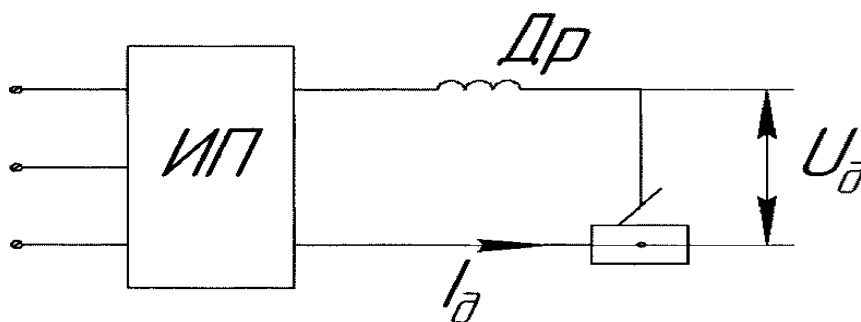


Рисунок 3 – Система источник питания – дуга (U_d – напряжение дуги; I_d – ток дуги; D_p – дроссель; ИП – сварочный источник питания)

Основной задачей источника питания является преобразование параметров энергии электрической сети в параметры необходимые для питания сварочной дуги.

Основным потребителем энергии является сварочная дуга. В сварочной дуге электрическая энергия главным образом преобразуется в тепловую энергию, при этом в ряде случаев необходимо учитывать процессы тепло и массопереноса через дуговой промежуток.

Как элемент электрической цепи - сварочная дуга представляет собой нелинейный элемент. В общем виде вольтамперная статическая характеристика сварочной дуги имеет V-образную характеристику

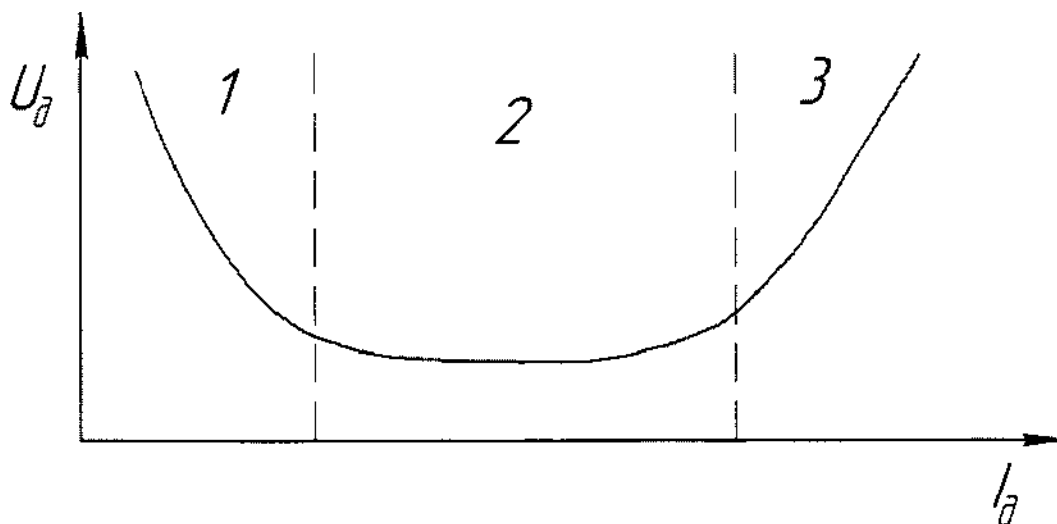


Рисунок 4 – Общий вид вольт-амперной характеристики сварочной дуги.

Можно выделить три области:

1 – область малых режимов (0,5 - 10) А, где форма характеристики падающая.

2 – область средних режимов с умеренными плотностями тока (сварка электродами с покрытием, неплавящимся электродом в аргоне и др.). В этой области напряжение $U_d = E_d$; E_d - пассивная противо – Э.Д.С. сварочной дуги.

3 – область сварки при высоких плотностях тока. В этой области напряжение дугового промежутка может быть предоставлено в виде:

$$U_d = E_d + I_d R_d; \quad (13)$$

где R_d - динамическое сопротивление сварочной дуги.

При реализации сварочного процесса можно выделить два основных момента процесса:

- а. возбуждение дуги.
- б. стабильное горение дуги, при котором образуется сварной шов.

С точки зрения режима работы также выделяются два этапа:

а. состояние установившегося равновесия, когда i_d и u_d в течении длительного времени остаются неизменными. Зависимость между током и напряжением дуги в этом состоянии называется статистической вольтамперной характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника питания временной ВАХ источника питания.

б. состояние неустановившегося равновесия или иначе - динамический режим (при возбуждении дуги или возмущениях). Зависимость между U_d и I_d называется динамической характеристикой дуги, а зависимость между током и напряжением источника динамической характеристикой источника, которые значительно отличаются от статической.

1.6 Динамический режима горения дуги на постоянном токе

Повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне, является горения дуги в динамическом режиме, обеспечивающий контрагирование столба дуги и примыкающих к нему активных пятен. Если возбуждать дугу на постоянном токе, процесс горения устанавливается через $(1-10) \cdot 10^{-5}$ с после её возбуждения. Это создает предпосылки к созданию динамического режима при питании дуги импульсами с меньшей длительностью.

При устойчивом дуговом разряде размеры столба дуги и активного

пятна на свариваемом металле, а также распределение энергии в нем обусловлены мощностью разряда, составом газовой атмосферы, теплофизическими и геометрическими параметрами электродов. Известно, что дуговой разряд приобретает свойства устойчивого разряда через $(1-10) \cdot 10^{-5}$ с после его возбуждения. Постоянная времени нарастания тока равна 0,002 с и практически не зависит от материала и толщины электродов.

При питании дуги повторяющимися импульсами тока время установления устойчивого разряда может измениться за счет неполной деионизации дугового разряда в промежутках между импульсами. Значение этого промежутка времени обусловлено полнотой протекания процесса ионизации в течение импульса и деионизации в паузу, которые, в свою очередь, зависят от энергетических и временных характеристик процесса.

Можно предположить, что если длительность протекания тока между электродами будет меньше длительности перехода дугового разряда в устойчивое состояние, то диаметр активного пятна на металле не достигнет величины, соответствующей мгновенным значениям тока и напряжения импульсов, а дуговой разряд будет характеризоваться при равных других условиях большей плотностью вводимой энергии и большей проплавляющей способностью. Такой режим горения сварочной дуги в дальнейшем будем называть динамическим режимом.

Проплавляющую способность дуги оценивали по глубине и ширине проплавления, при условии постоянства вводимой в металл тепловой энергии на различных режимах. Эффективную тепловую мощность определяли калориметрированием.

Для питания дуги применяли специально разработанные источники кратковременных импульсов тока.

Типичные осциллограммы тока и напряжения приведены на рисунке 5.

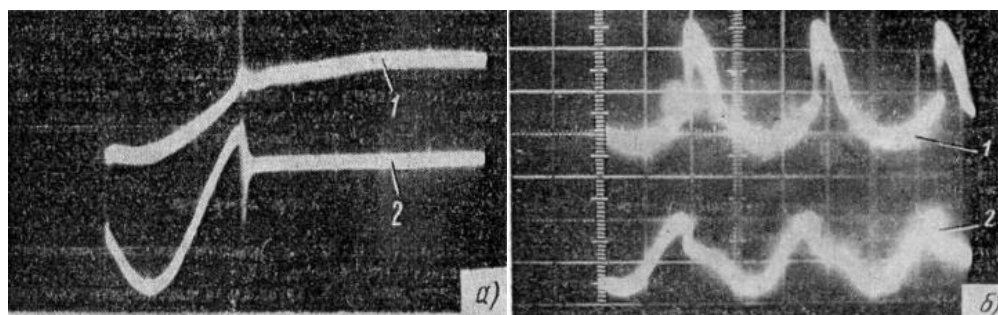


Рисунок 5 – Осциллограммы тока (а) и напряжения дуги (б) [1]

Заключение.

Анализ внутренних и внешних методов повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне показал ограниченные возможности при практическом применении из-за их конструктивной технологической сложности в то же время наиболее свободным от указанных сложностей но наименее исследованным и более перспективным является процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Такой процесс, реализуемый при импульсной модуляции сварочного тока, позволяет контрагировать столб дуги и примыкающих к нему активных пятен, благодаря чему концентрированно вводить тепло в изделие. Однако сварочно технологические свойства дуги горячей в динамическом режиме в научно-технической литературе практически не отражены. Ввиду достоинств такого процесса и перспективность его применения исследование такого процесса является актуальным.

На основании этого цель настоящей работы может быть сформулирована следующим образом: разработать процесс сварки неплавящимся электродом в аргоне дугой горячей в динамическом режиме и технических средств для его реализации.

Задачи исследования:

- а) Исследование и разработка процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме;
- б) Разработка методики проведения эксперимента;

с) Исследование технологических свойства дуги горячей в динамическом режиме.

2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ДУГИ ГОРЯЩЕЙ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В 1 главе показана перспективность применения дуги горячей в динамическом режиме, в сравнении с другими способами сварки. Но прежде чем переходить к разработке нового оборудования и технологии процесса сварки необходимо исследовать свойства дуги и процессов ее контрагирования.

Столб дуги или дуговая плазма - это совокупность электронов, ионов, возбужденных и невозбужденных нейтральных атомов и молекул. В столбе дуги непрерывно протекают процессы рождения (ионизации) и гибели (рекомбинации) заряженных частиц (электронов и ионов). Так как столб дуги содержит заряженные части, то он обладает электрической проводимостью [35].

При анализе литературных источников было установлено, что в настоящее время разработаны следующие модели столба дуги:

- каналовая модель столба дуги, т.е. допускается равномерное распределение тока по сечению с радиусом $r_{эф}$, и выводится уравнение, которое дает представление о физических параметрах, определяющих напряженность поля в столбе [32];

- цилиндрическая модель столба дуги; проведенные расчеты позволили получить радиальное распределение температуры и плотности тока в столбе дуги, вычислить напряженность электрического поля и коэффициент сосредоточенности в зависимости от тока дуги; результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными; изменяя теплофизические свойства среды, можно управлять энергетическими параметрами дуги при сварке [33];

- двухтемпературная модель столба сварочной дуги; предложен метод расчета столба сварочной дуги с учетом термической и ионизационной неравновесности плазмы [34];

- математическая модель динамической электрической дуги; вместо реальной инерционной дуги, характеризующейся квазиэкспоненциальным изменением сопротивления R при ступенчатом токе, рассматривается гипотетическая безынерционная дуга. С помощью данной математической модели можно исследовать не только условия горения дуги переменного тока при его замедленном прохождении через нуль, но и условия повторного возбуждения при обрывах [35];

- термическая модель, с помощью которой в зависимости от изменений характеристик источника тока можно судить о состоянии столба сварочной дуги [36].

- цилиндрическая и коническая модели столба дуги, главным недостатком цилиндрической модели является то, что она предполагает неподвижность плазмы в дуге, поэтому для приближения к условиям реальной сварочной дуги, имеющей в большинстве случаев колоколообразную форму и характеризующейся наличием плазменных потоков, более подходит модель дуги в виде усеченного конуса [37].

Таким образом, обзор литературных источников показал, что в настоящее время существует множество различных моделей столба сварочной дуги.

Сварочная дуга, горящая в аргоне между неплавящимся электродом и плавящимся изделием, имеет колоколообразную форму столба как показано на рисунке 6.

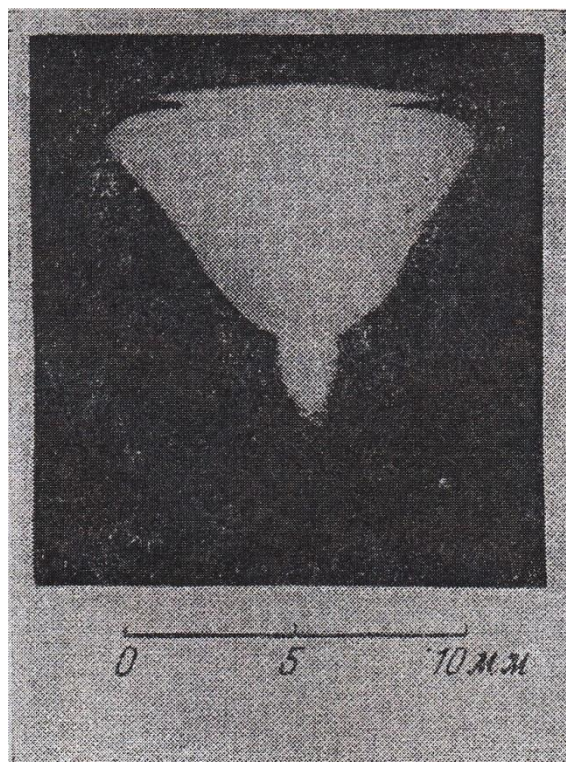


Рисунок 6 – Сварочная дуга, горящая в аргоне[21]

Это обусловлено действием плазменных потоков направленных с электродов, формирование которых зависит от действующего значения сварочного тока. Согласно литературным данным сварочную дугу можно разделить: горящую при малых токах или горящую при больших токах; статистический режим горения или динамический режим горения.

2.1 Цилиндрическая модель дуги

При токах не превышающих 30 А, столб дуги имеет цилиндрическую форму, модель дуги будет называться цилиндрической или каналовой [21]. Дуга, горящая при малых токах между неплавящимся вольфрамовым электродом и водоохлаждаемым медным анодом, представляет собой цилиндрический столб, в котором движение компонентов плазмы происходит в обоих направлениях хаотично. От анода к катоду движутся ионы, а от катода к аноду движутся электроны. Отсутствие каких-либо

сильных потоков позволяет привести такую дугу к цилиндрической. Схематичное строение дуги представлено на рисунке 7.

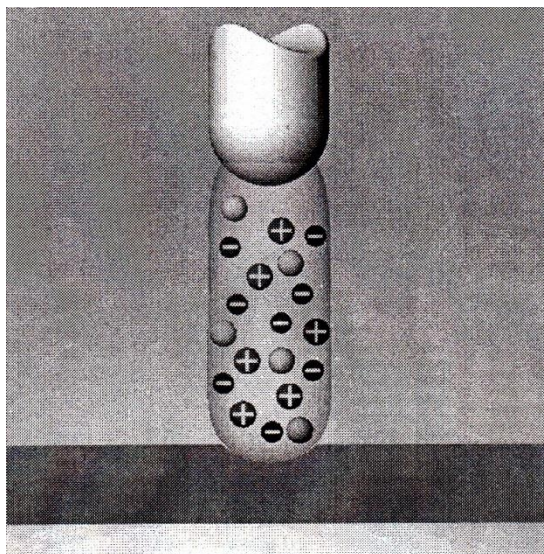


Рисунок 7 – Форма столба дуги горящей при малых токах

Цилиндрическая дуга, как говорилось ранее, считается квазинейтральной. Движение компонентов плазмы осуществляется под воздействием электромагнитных сил. Ионы, образованные в прианодном слое (зоне ионизации), не сносятся к периферии столба дуги в связи с тем, что гидродинамическое течение газа вблизи поверхности анода минимально, т.е. ионы движутся в столб дуги и далее к поверхности катода.

2.2 Конусообразная модель дуги

Дуга в которой сварочный ток намного превосходит 30 А, ведет себя по иному. В данном типе дуг формируются катодные потоки, которые делают дугу пространственно устойчивой и способствуют движению компонентов плазмы от катода к аноду. Сформированные катодные потоки обуславливают форму столба дуги и такую дугу считают конусообразной как показано на рисунке 8.

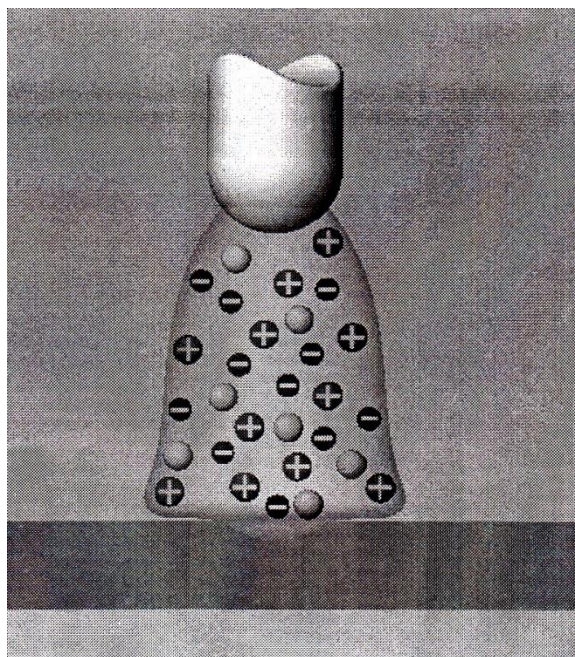


Рисунок 8 – Форма столба дуги горящей при больших значениях тока

Увеличение сварочного тока приводит к расширению столба дуги, удлиняется участок поверхности катода, охватываемый плазмой, в результате чего дуга кажется длиннее. Конусообразный участок у поверхности анода несколько уменьшается. Столб дуги по мере укорачивания сплющивается, что связано с увеличением в поперечнике объема прогреваемого газа в дуговом столбе. При удлинении дуги скорость течения плазмы со стороны катода, вследствие возрастания разницы между поперечными сечениями столба по длине дуги повышается. В центральной области дуги движение потока плазмы наблюдается от электрода к изделию, на периферии же плазма недвижима [22]. При достижении потоком плазмы поверхности анода происходит изменение направления, от дуги по поверхности анода и далее под воздействием сил к электроду.

Потоки с электродов сопутствуют движению компонентов плазмы, состоящей из электронов, положительных ионов различных атомов и молекул в разных степенях ионизации, различных отрицательных ионов и более сложных образований. Конкретный состав плазмы зависит от температуры столба дуги. В большинстве случаев рассматривают только два

рода носителей зарядов: электроны и положительные ионы [23,24,21,25,26,27].

У катода располагается объемный отрицательный заряд – электроны, а у анода объемный положительный – ионы. Электроны, находящиеся в прикатодной области, нарушают термодинамическое состояние в данной зоне из – за большого количества, но при переходе из прикатодной области в столб дуги свободные электроны частично рекомбинируются, частично отдают свою энергию при соударениях с другими составляющими плазмы или себе подобными [24]. Вся подводимая к столбу энергия воспринимается наиболее легкими и подвижными электронами, которые в результате упругих столкновений с атомами и ионами, нагревают их.

На движении электронов катодные потоки оказывают не значительное влияние. Скорость движения электронов на порядок превышает скорость катодных потоков. Скорость ионов мала, что способствует к тому, что скорость течения катодных потоков преобладает над скоростью движения ионов. Ионы при этом изменяют свое направленное движение от анода к катоду, на движение от катода к аноду. При этом количество ионов вблизи анода, будет соответствовать числу ионов обеспечивающих электрическую нейтральность. Образование новых ионов путем термической ионизации будет небольшим и обуславливается только тем количеством ионов, которое было вынесено на периферию столба дуги гидродинамическим течением [21,24]. Малое анодное падение потенциала объясняется термическим характером процессов в области анодного падения. При хорошо сформированной катодной струе значение анодного падения напряжения составляет всего (1 ± 2) В. На анодное падения напряжения так же влияет длина дуги.

2.3 Модель дуги горящей между неплавящимся электродом и плавящимся изделием

Выше представлены модели, когда дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и медным водоохлаждаемым анодом. В реальном процессе сварки дуга горит между неплавящимся электродом и плавящимся изделием, что вносит свои коррективы на форму столба дуги как показано на рисунке 9.

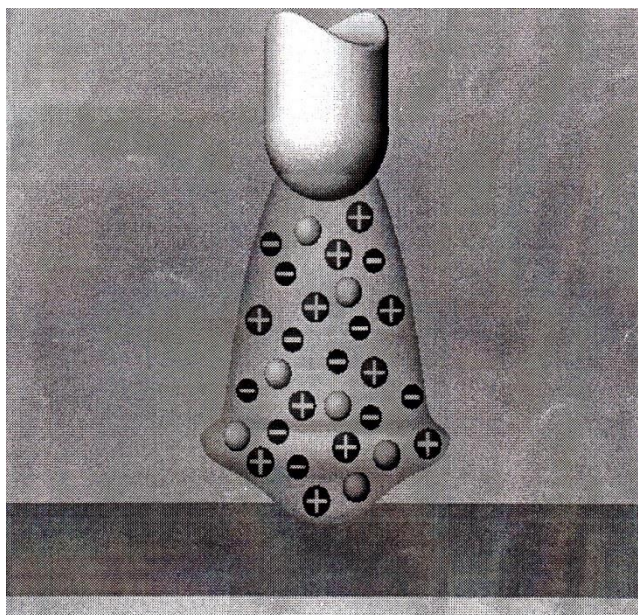


Рисунок 9 – Модель дуги, горящей между неплавящимся и плавящимся электродами при токах свыше 30 А

В связи с тем, что анод плавится, т.е. является испаряющимся на его поверхности под действием электромагнитных сил, формируется анодные потоки в противовес катодным. Потоки, направленные с анода не такие скоростные и сильные как катодные из – за размеров анодной области. Анодная область при стационарном режиме сварки или при импульсном режиме по своим размерам превосходит размеры катодной области, поэтому концентрация струй с анода меньше на единицу площади. Плазменные потоки, с катода двигаясь к аноду, продавливают анодный поток, в центральной части столба дуги изменяя тем самым направление последнего и

увлекая его к периферии столба. Достигнув анода, катодный поток меняет свое направление и начинает двигаться вдоль поверхности анода, где под действием анодных струй изменяет свое направление и уже движется новый общий поток анодных и катодных струй. На периферии анодной области анодные потоки преобладают над потоками с катода, что и приводит к изменению формы столба дуги.

2.4 Феноменологическая модель динамической дуги

Представленные модели (2.1; 2.2; 2.3) дуги составлены для стационарно горящих дуг. Изменение значения тока происходит либо за значительный период времени, либо остается постоянным в период сварки. Дуга горящая в динамическом режиме, не может быть описана ни в одной из существующих моделей. Переход от малых токов к большим называется динамическим или переходным режимом, ориентировочно длительность его составляет 450-500 мкс [28]. Исходя из всего, для горения дуги в динамическом режиме, длительность импульсов не должна превышать длительности перехода режима, т.е. не более 450 мкс. Предлагаемый режим для дуги, горящей в динамическом режиме следующий: длительность импульсов от 30 до 70 мкс, ток импульса более 250 А, а ток паузы от 8 до 12 А. При данном режиме не позволяется в период импульса достигнуть столбу дуги параметров стационарного состояния значения тока.

При разработки модели дуги горящей в динамическом режиме с учетом информации в научно-технической литературе приняты следующие допущения:

- плазма столба дуги представляет единую сплошную среду;
- среда столба дуги является однородной и изотропной во всем объеме;
- размеры анода и катода соизмеримы. Температура активных пятен на электродах зависит от среднего значения протекающего тока. Из – за

малой длительности импульса, температура не успевает измениться и достичь значения соответствующего параметру тока в импульсе;

- свойства дуги, горящей в динамическом режиме, ее столбом и процессами, протекающими в нем, что позволяет принять постоянство суммы приэлектродных падений напряжения $U = U_a + U_i = \text{const}$ на интервале импульса;

- распределение тепла в столбе дуги происходит в радиальном направлении;

- теплофизические коэффициенты постоянны, равны усредненным значениям, не зависящим от каких – либо факторов.

Более подробное рассмотрение процессов в столбе дуги будет рассмотрено с использованием осциллограмм тока и напряжения в столбе дуги в динамическом режиме горения дуги, представленных на рисунке 10.

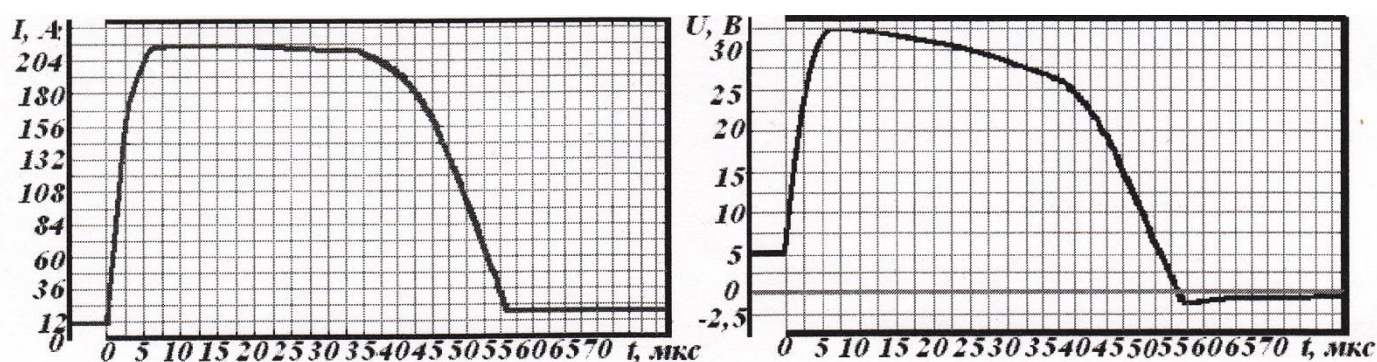


Рисунок 10 – Временные осциллограммы напряжения и тока

Для качественной оценки процессов столба дуги в зависимости от основных параметров их можно описать формулами удобными для основных параметров и дальнейшего использования. Для решения поставленной задачи можно воспользоваться методом аналитической аппроксимации реальных осциллограмм. Аппроксимацию удобнее всего осуществлять по участкам характеристики. Удовлетворительные результаты дает простая и удобная кусочно-линейная аппроксимация. Исследование позволяет выделить и линеаризовать 3 этапа (1 - 2; 2 - 3; 3 - 4) как показано на рисунке 11.

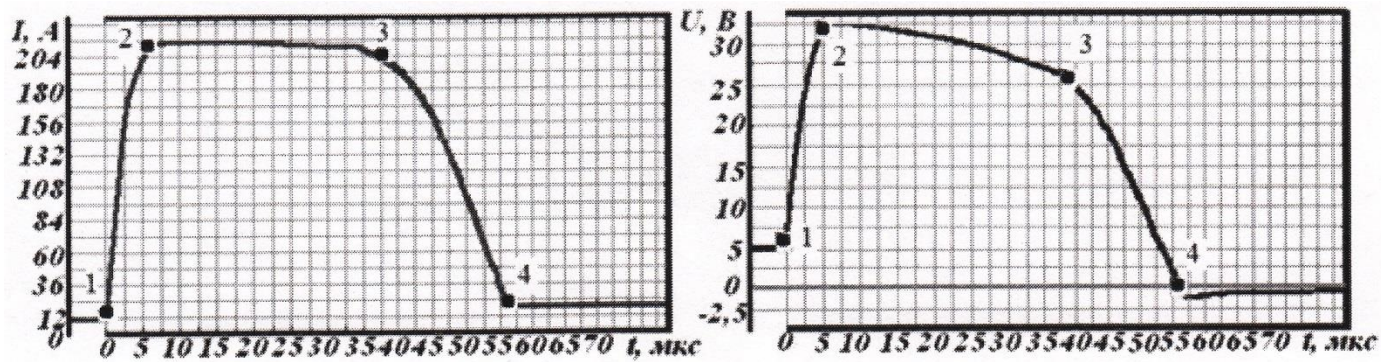


Рисунок 11 – Линеаризованные этапы осциллограмм

Для упрощения расчетов площадь в поперечном сечении по всей длине дуги принимаем постоянной.

Первый этап начинается с момента времени $t_0 = 0$, совпадающей с точкой 1 на осциллограммах. На этом этапе динамика столба дуги отстает от скорости изменения тока и дуга может быть представлена активным сопротивлением, что коррелирует с результатами работы. Изменение тока и напряжения происходит по линейному закону. Используем известную формулу(14):

$$U_{\partial} = U_a + U_k + \beta l_{\partial} \quad (14)$$

Где: U_{∂} – полное напряжение дуги, В;

U_a – падение напряжение на аноде, В;

U_k – падение напряжение на катоде, В;

βl_{∂} – падения напряжение столба, В.

Поскольку в динамическом режиме горения дуги за время импульса суммарное падение напряжения на активных пятнах можно считать постоянным, найдем его согласно выражения представленного в работе Пентегова И.В. [23].

$$U_{a+k} = U_{\partial 1} \times \frac{\frac{U_{\partial 2} \cdot I_2}{U_{\partial 1} \cdot I_1}}{1 - \frac{I_2}{I_1}} \quad (15)$$

Суммарное падение напряжения активных пятен составляет 3,46 В.

Количество носителей заряда в этот период не успевает измениться. Зона проводимости столба дуги остается прежней, из – за несоответствия процессов ионизации – деионизации, эмиссии от действующего значения тока, Увеличение тока приводит к образованию плазменных потоков направленных с электрода в столб дуги. Причинами являются электромагнитные силы.

Вблизи электрода, под действием электромагнитных сил, формируется область, которая подобна насосу вытягивает газ из окружающего пространства и выбрасывает его в направлении анода в виде свободной струи. Это струя смешивается с окружающим газом, в результате чего образуется постепенно расширяющийся поток. Нарастание тока более 200 А приводит к изменению типа дуги, от дуги с катодным пятном к дуге без явно выраженного катодного пятна.

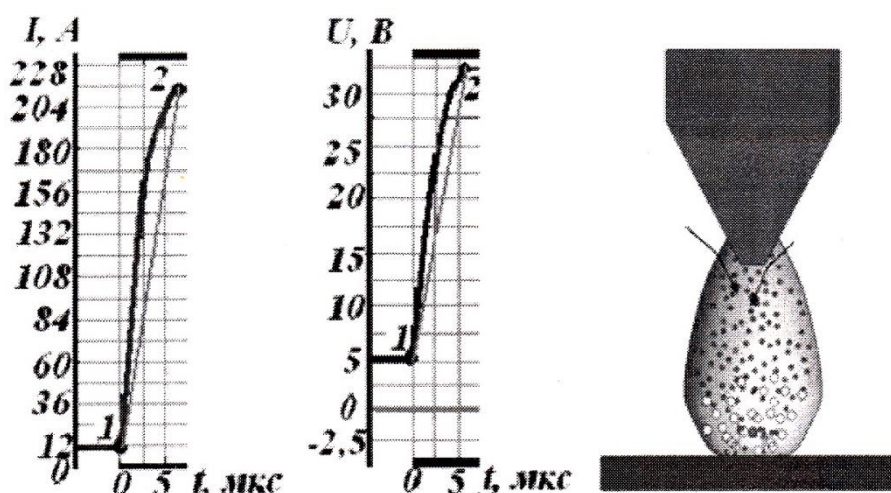


Рисунок 12 – Фронт нарастания импульса тока и напряжения.

Схема модели дуги на участке фронта нарастания тока. Реальная дуга имеет форму отличную от цилиндрической и фронты импульсов тока и напряжения имеют определенную длительность как на рисунке 11.

Длительность первого этапа определяется параметрами первой ячейки, что согласуется с данными представленными в работах Ицкохи. Максимального значения ток достигает за время равное четверти периода собственных колебаний первой ячейки.

$$\frac{T}{4} = 3,14 \times \sqrt{L} \times C; \quad (16)$$

Где: T – период собственного колебания ячейки;

L – индуктивность дросселя первой ячейки, Гн;

C – емкость конденсатора первой ячейки, мкФ;

Первый этап завершается при достижении максимального напряжения в нагрузке. Для нахождения длительности второго этапа, воспользуемся уравнением 4.

$$t_b = t_n + t_c + t_\phi; \quad (17)$$

Где: t_b – полная длительность второго этапа, мкс;

t_n – полная длительность импульса, мкс;

t_c – длительность среза импульса, мкс;

t_ϕ – длительность фронта импульса, мкс;

k – количество ячеек формирующего элемента.

$$t_\phi = 0,61 \times \sqrt{L_{я}} \times C_{я}; \quad (18)$$

$$t_c = (2,3 - 0,075k) \times \sqrt{L_{я}} \times C_{я}; \quad (19)$$

$$t_n = 2,2 \times k \times \sqrt{L_{я}} \times C_{я}; \quad (20)$$

Второй участок характеризуется постоянным значением тока, при снижающемся напряжении, что можно связать с процессами протекающими в столбе дуги. Достигнутые максимальные значения не соответствуют параметрам столба дуги, что приводит к активизации процессов саморегулирования в столбе. С течением времени столб дуги начинает расширяться, при этом сопротивление столба уменьшается как на рисунке 13.

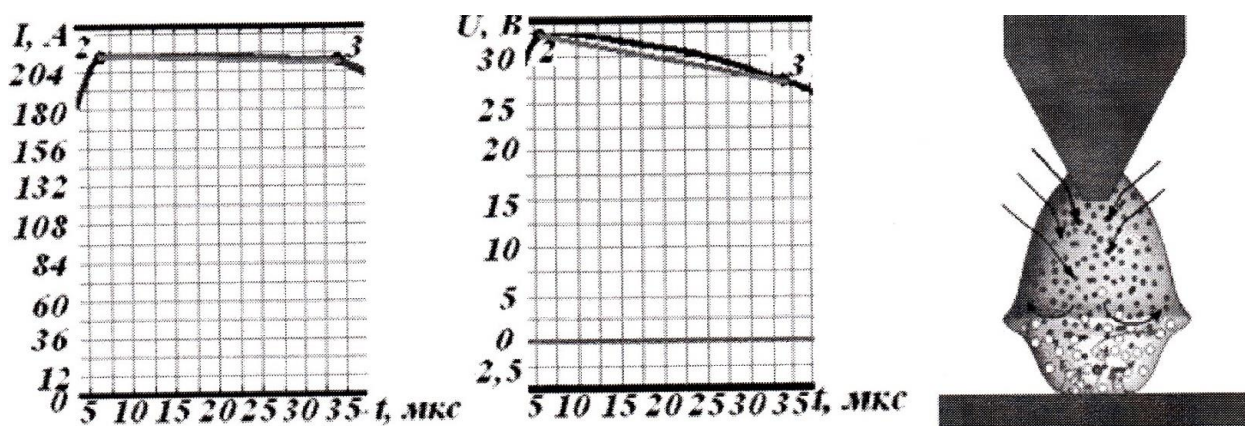


Рисунок 13 – Вершина импульса (второй участок).

Схема модели дуги на участке вершины импульса тока. Участок 2 – 3 на динамической характеристике соответствует вершине импульса, как ток, так и напряжения. При достижении током максимального значения более 200 А, в дуге полностью сформированные потоки с электродов изменяют форму дуги из цилиндрической в бочкообразную. Количество зарядов не соответствует действующим значением тока и напряжения столба дуги находится в неустойчивом состоянии. Активизировавшиеся процессы саморегулирования и плазменные потоки приводят к изменению проводящей части столба дуги ее уширению. Расширение проводящей зоны столба дуги приводит к падению напряжения (4-5 В) на участке 2 – 3. Действие потока на столб дуги неравноценно. В связи, что катодный поток сформирован на торце электрода, имеющего ограничения, то он превалирует над анодным потоком. Наиболее расширенная часть будет находится в зоне взаимодействия двух потоков, ближе к аноду. Данное расположение связано с расположением анодного пятна на периферии и участке небольшой протяженности вблизи анода. Движение компонентов плазмы происходит от катода к аноду, электроны вдоль силовых линий тока, а ионы под действием плазменных потоков сносятся в анодную область.

Спад тока и напряжения до параметров – дежурной дуги зависит от формирующего элемента, что связано с перезарядом ячеек. Длительность этапа определяется по формуле 5 или в 4 – 5 раз больше длительности фронта нарастания импульса.

Для составления уравнения описывающий третий участок осциллограмм, принимаем, что ток и напряжения изменяются согласно закону Ома, и является постоянной величиной. Снижение тока и напряжения приводит к уменьшению геометрических размеров дуги. Среза импульса тока и напряжения соответствует нижняя ветвь петли гистерезиса, участок 3 – 4 как на рисунке 14. Отключение импульса тока происходит, когда процессы в столбе дуги не достигли стационарного состояния. Постепенное снижение тока в течении 30 – 32 мкс, приводит к ослаблению плазменных потоков. Столб дуги изменяет свою форму из – за отсутствия потоков. Количество носителей еще велико в дуговом промежутке и не соответствует параметрам импульса.

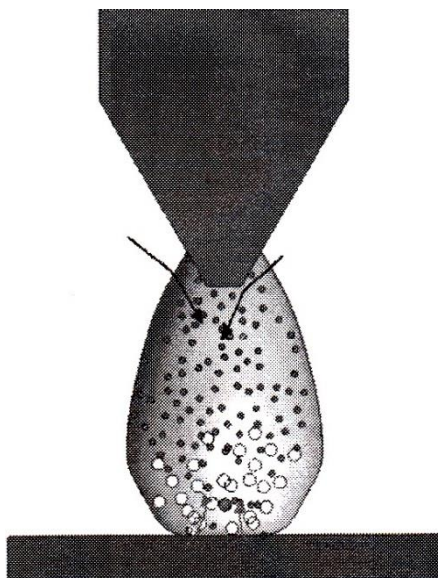


Рисунок 14 – Схема модели дуги горящей на участке среза импульса тока

Время на третьем участке изменяется в диапазоне $37 \leq t_3 \leq 57$ мкс, форма среза импульса показана на рисунке 15.

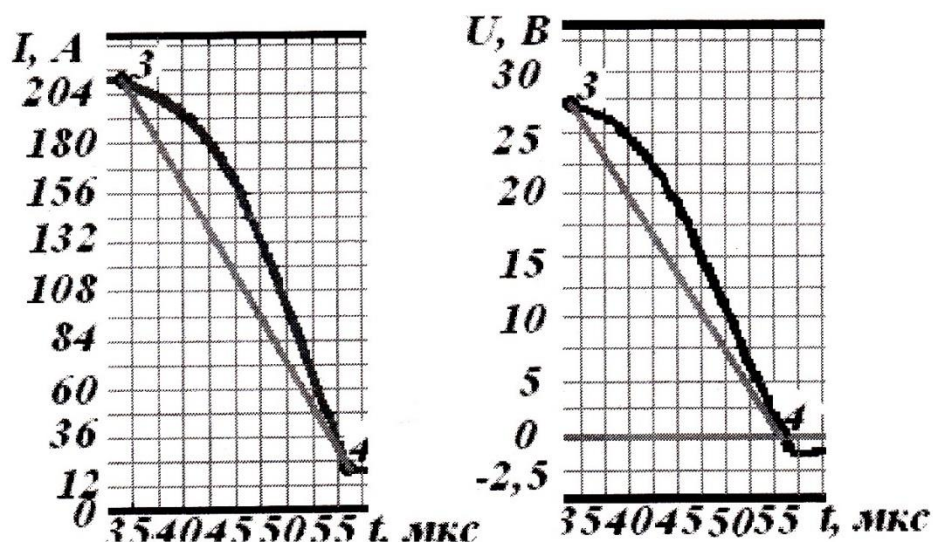


Рисунок 15 – Срез импульса тока и напряжения

В момент отключения импульса тока происходит снижение напряжения до отрицательного значения, что свидетельствует об остаточных явлениях в дуге. Снижение параметров импульса приводит к тому, что с электрода (катода) из – за его большого разогрева еще кратковременный период происходит эмиссия электронов с поверхности. В столбе количество носителей заряда не соответствует стационарному состоянию значения дежурной дуги. Таким образом, в дуговом промежутке в период отключения импульса и переходу к дежурной дуге образуется объемный пространственный заряд обладающей большой энергией, чем подводимая энергия от источника. Не смотря на снижение напряжения до величины близкой к нулю, проплавляющая способность дуги не уменьшается, а наоборот увеличивается из – за повышения концентрации носителей заряда.

Отрицательные значения тока и напряжения так же связаны и со схемным решением импульсной части оборудования. Наличие гистерезиса характеризует инерционность тока дуги, что обусловлено инерционностью процессов ионизации – деионизации и связано с инерционностью нагрева дугового газа током, определяющей его термическую ионизацию.

Вывод по главе

В данном разделе были рассмотрены свойства дуги и процессы ее контрагирования. Проведен литературный обзор моделей столба сварочной дуги. Рассмотрены модели дуг горящих при малых токах, при больших токах, с плавящимся анодом и феноменологическую модель дуги горящей в динамическом режиме. Используя полученные знания, дали описание модели дуги горящей в динамическом режиме неплавящимся электродом в аргоне.

3. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

При дуговой сварке неплавящимся электродом сварочная ванна образуется в результате расплавления основного металла. Остывая, металл сварочной ванны, образует металл шва, поэтому форма шва по существу зависит от формы ванны. Умение управлять формой ванны позволяет получать требуемую форму шва.

3.1 Образование сварочной ванны и ее характеристики

Образование сварочной ванны происходит в результате расплавления основного и присадочного (электродного) металла, если такой применяется [27]. Металл ванны, находящийся в жидком состоянии, кристаллизуется, образуя металл шва, таким образом, форма ванны обуславливает форму шва.

Хорошим соединением будет являться корневой слой сварного соединения выполненный без дефектов и отвечающего всем требованиям предъявляемым руководящим документом. Особенно это важно при выполнении соединений, где металл шва, контактирует с агрессивной средой, способствующей разрушению. Для грамотного выполнения корневого слоя необходимо знать такие вещи как: процесс кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны; силы, действующие на сварочную ванну; оптимальные параметры сварочной ванны; процесс распределения теплоты в изделии и многое другое.

Основными характеристиками ванны являются ее геометрические размеры (рисунок 15): глубина H ; ширина B ; длина L ; поверхность зеркала ванны F ; масса G или объем V . Эти характеристики зависят от теплофизических свойств материала изделия, основных параметров режима сварки и энергетических показателей системы (источник питания – сварочная дуга - изделие).

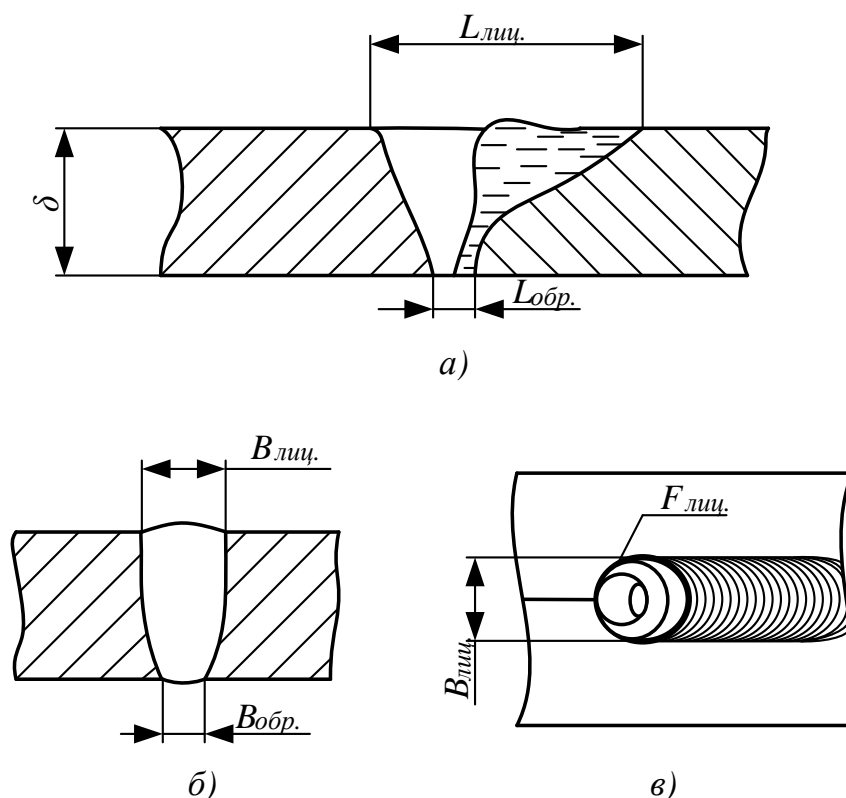


Рисунок 16 – Схема сварочной ванны при сварке со сквозным проплавлением: а и б – продольное и поперечное сечения; в – вид сверху.

При сварке с образованием сквозного отверстия глубина ванны - Н может не учитываться, в связи с полным проплавлением металла изделия. Ширина и глубина ванны изменяется по длине непрерывно, поэтому различают головную – $L_{гол}$ и хвостовую – $L_{хвост}$ часть ванны. В головной части плавится основной металл, поперечное сечение увеличивается в направлении противоположном направлению движения дуги. В хвостовой части металл ванны кристаллизуется, поперечное сечение уменьшается.

Оценка объема геометрических размеров ванны при помощи математических формул является сложной задачей, решение которой получено для частных случаев с определенными ограничениями.

В процессе сварки форма и размеры сварочной ванны зависят не только от теплофизических свойств металла параметров режима, но и от внешних сил действующих как на поверхности ванны, так и внутри нее. Сварочная ванна находится под действием статических сил, т.е. в

статическом равновесии [28]. Процесс поддержания этого условия саморегулирующийся и зависит от толщины жидкой прослойки под дугой и объема самой ванны.

Силы (давления) в зависимости от принятой терминологии разделяют на поверхностные и объемные силы [29]. Поверхностные силы воздействуют на поверхности сварочной ванны, к ним относят: давление дуги; газокINETическое и электромагнитное давление; давление заряженных частиц и испаряющегося металла ванны; силы поверхностного натяжения. Объемные силы действуют непосредственно в сварочной ванне, к ним относят: электродинамические и гидродинамические силы в ванне; гравитационные силы; силы внутреннего трения в жидком металле. При сварке все перечисленные силы могут как помогать, так и отрицательно сказываться на формировании сварного шва в зависимости от того в каком пространственном положении идет сварка. В связи с этим согласно работе силы в системе дуга – сварочная ванна – шов разделяют на три группы: силы воздействия источника энергии; силы в сварочной ванне; силы поверхностного натяжения на границе фаз [29].

3.2 Анализ моделей сварочных ванн

Модели сварочных ванн делятся по возрастанию сложности и адекватности процесса сварки, что следует из анализа описанных в литературе моделей формирования сквозного шва. Все они имеют различную сложность, возможность и условия реализации. Чем сложнее применяемая модель, тем большее количество факторов она учитывает и тем ближе результаты моделирования к реальным значениям. Известные модели можно разделить на 5 групп:

- эмпирические и экспериментально-статические модели. Модели данной группы аппроксимируют результаты эксперимента и связывают основные геометрические размеры шва с режимами сварки. Экспериментально-статические модели строятся на основе многофакторного

планирования экспериментов и представляют совокупность уравнений регрессии;

- модель баланса давлений основана на равновесии давлений действующих на жидкий металл сварочной ванны, располагающийся между твердыми кромками;

- модель баланса сосредоточенных сил. При использовании данной модели первоначально априорно задается форма межфазной поверхности, далее интегрированием по поверхности или объему находятся интегральные равнодействующие соответствующих силовых факторов, их главные векторы;

- плоские капиллярно-гидростатические модели. При построении модели делаются допущения: движение жидкого металла в сварочной ванне отсутствует, величина давления дуги и коэффициент поверхностного натяжения постоянны. Модель основана на решение двумерного варианта основного уравнения теории капиллярности;

- объемная тепловая капиллярно-гидростатическая модель, позволяет выполнить объемное моделирование на основе решения трехмерного основного уравнения теории капиллярности, решаемого совместно с уравнением теплопроводности численными методами.

Вывод по главе

На основе известных моделей сварочных ванн составлена феноменологическая модель сварочной ванны со сквозным проплавлением.

Составлена методика определения параметров сварочной ванны со сквозным проплавлением.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения исследования процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме разработана экспериментальная установка.

Для исследования режимов сварки удовлетворяющих требованиям нормативной документации, проводили сварку и наплавку образцов [29].

Под действием дуги горячей в динамическом режиме происходит плавление металла изделия, образуя сварочную ванну. Кристаллизуясь, сварочная ванна образует металл шва, т. е. форма сварочного шва зависит от размеров формы сварочной ванны. Основными характеристиками сварочной ванны является ее геометрические параметры: L – длина, B – ширина, H – глубинна проплавления, F – площадь заполнения ванны. На рисунке 17 представлен внешний вид сварочной ванны с геометрическими параметрами.

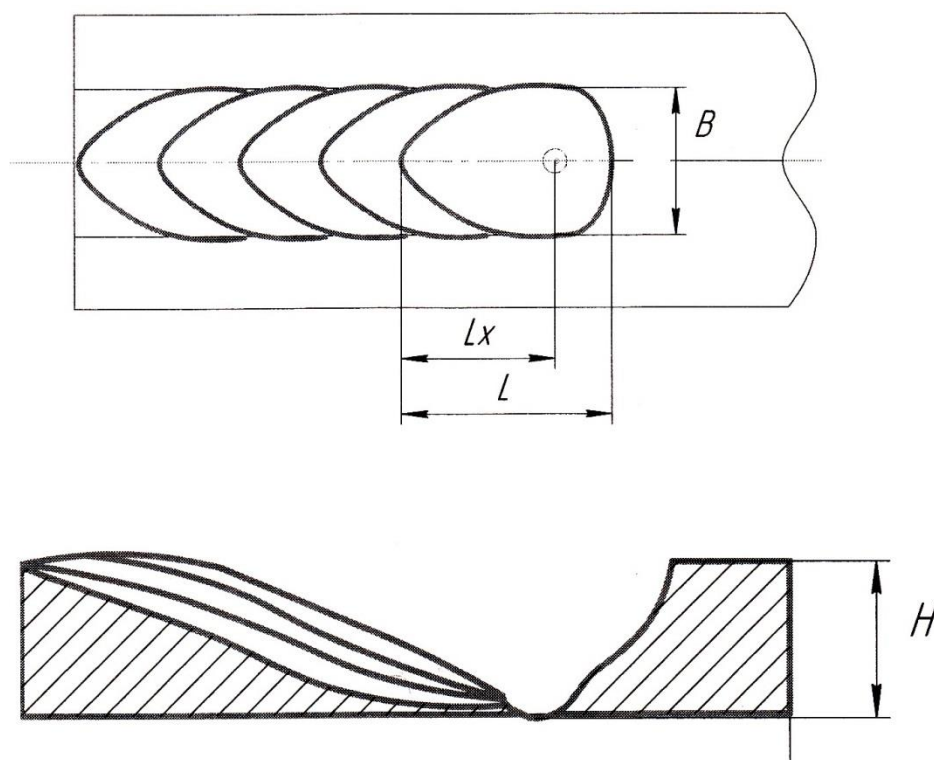


Рисунок 17 – Сварочная ванна

(L – длина, B – ширина, H – глубинна проплавления, L_x – длинна хвостовой части сварочной ванны)

Эти характеристики зависят от теплофизических свойств свариваемого металла, параметров режима сварки и энергетических свойств

дуги. Размеры сварочной ванны могут быть определены при помощи поперечных и продольных макрошлифов. Однако использование шлифов не позволяет с точностью определить площадь поверхности и длину ванны, как полную, так и составные части. Литературные данные предлагают различные методики по определению геометрических характеристик сварочной ванны, такие как метод опрокидывания, выдувания, удаление под действием собственного веса [50].

4.1 Лабораторные исследования

Лабораторные исследования проводились с металлическими пластинами, для отработки оптимального режима сварки, дугой горячей в динамическом режиме.

Для питания дуги применяли специально разработанный источник питания кратковременных импульсов тока большого амплитудного значения. Сварку пластин производили на установке АДСВ – 5.

Экспериментальная установка, представленная на рисунке 18 содержит: сварочную горелку 4 (для аргонодуговой сварки); разработанный источник питания, состоящий из трехфазного выпрямителя 1, батареи конденсаторов большой емкости 2 и импульсного устройства 3; электрод 5; изделие 6 в прижимном приспособлении, механизм перемещения горелки 9 с блоком управления 10; без индуктивный шунт 7 и подключенный осциллограф 8.

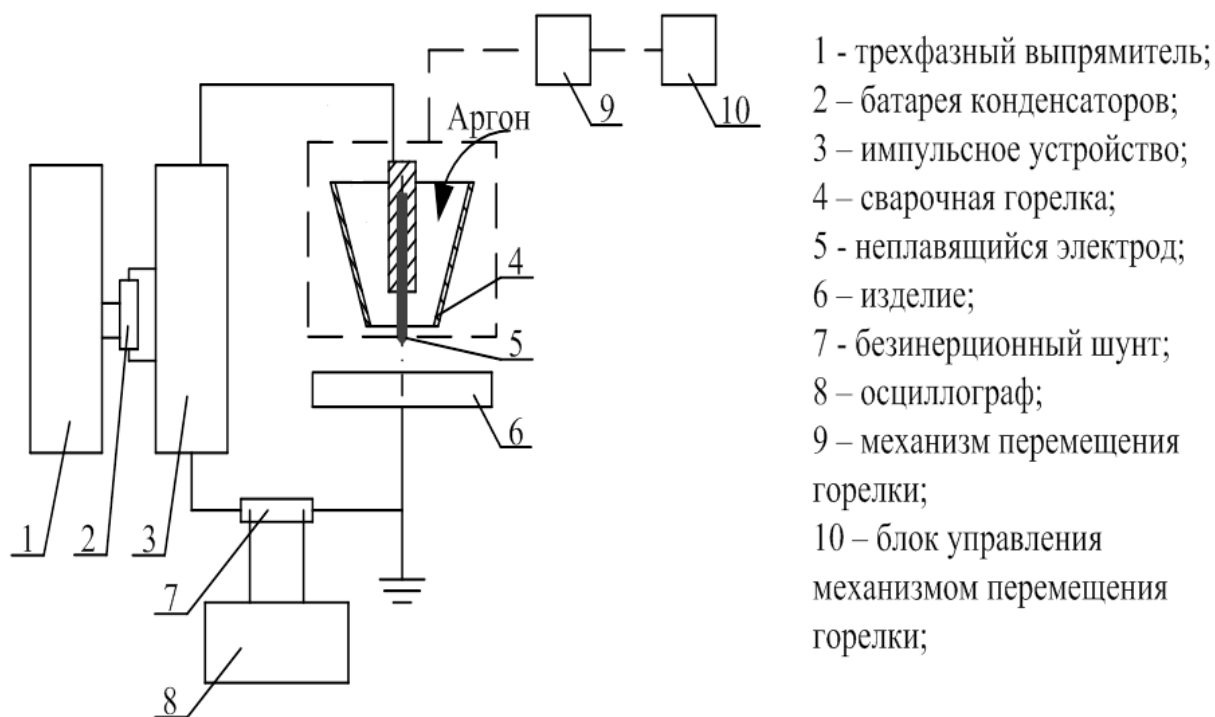


Рисунок 18 – Экспериментальная установка

Импульсное устройство позволяет получать кратковременные импульсы тока длительностью до 100 мкс, что обеспечивает динамический режим горения дуги. Частота следования импульсов регулируется в диапазоне от 700 Гц до 3300 Гц. Для обеспечения непрерывности горения дуги при малой частоте следования импульсов, между импульсами протекает дежурный ток 12-18 А.

Сварка образцов производилась в среде аргона неплавящимся электродом со сферической рабочей поверхностью; диаметром 3 мм марки ЭВЛ с притуплением острого конца электрода. В течение 20 сек, после установления процесса сварки в динамическом режиме происходило, отключение питания сварочной дуги и одновременный выдув металла сварочной ванны. Обмер образцов производился с помощью экспериментального микроскопа и микрошлифов. Образец закреплялся в прижимном приспособлении. Схема сборки которого представлена на рисунке 19. Образцы без разделки собирались в слепой зазор.

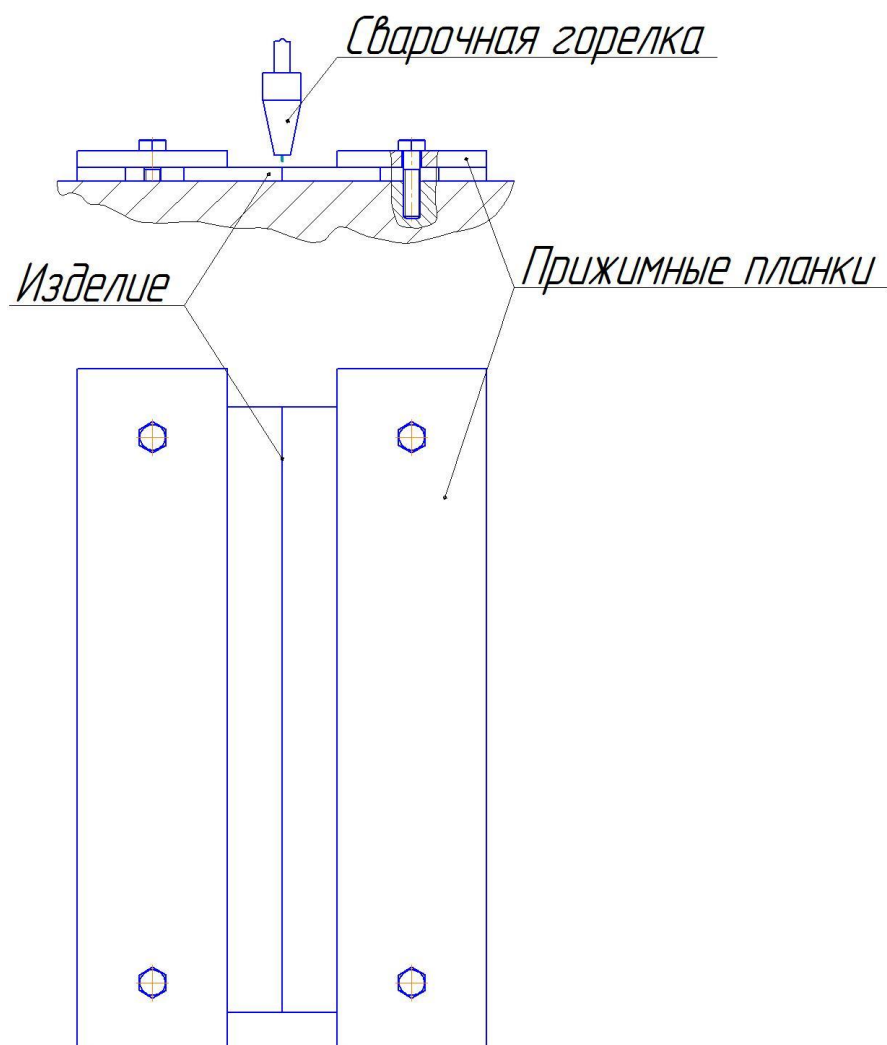
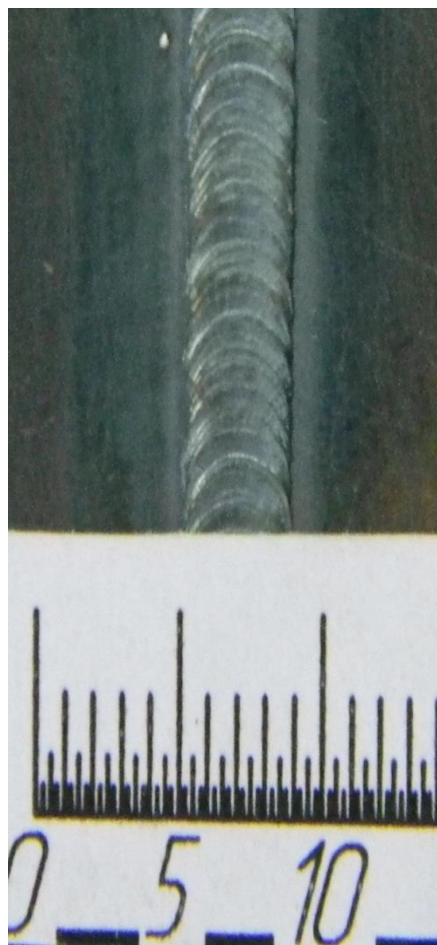


Рисунок 19 - Схема сборки в приспособление

Сварочная головка устанавливается вдоль стыка, зажигание дуги происходит контактным методом закорачиванием дугового промежутка при помощи угольного электрода. Питание дуги осуществляется от источника питания через коаксиальный кабель. Использование такого кабеля позволяет снизить потери энергии.

Экспериментальное подтверждение перевода стационарной дуги в динамический режим горения проводилось при сварке пластин в стык. Параметры режима сварки: $I_u = 300 \text{ А}$; $I_{d.o} = 15 \text{ А}$; $U_u = 24 \text{ В}$; $U_{d.o} = 6 \text{ В}$; $f = 2800 \text{ Гц}$. Длительность импульсов составляет 65 мкс. Качество сварного шва оценивалось визуально по изменению внешнего вида. Внешний вид представлен на рисунке 20.



а – прямая сторона



б – обратная сторона

Рисунок 20 – Внешний вид сварного шва

Полученные образцы сварных швов имеют мелкочешуйчатую поверхность. Ширина шва с лицевой и обратной стороны одинаковая и составляет 3 мм, что свидетельствует о концентрированном вводе тепла в изделие. Сплавление образцов происходит по всей длине без видимых дефектов. Малая протяженность ОШЗ позволяет улучшить механические свойства сварного шва и снизить напряжения.

4.2 Оценка работоспособности вольфрамовых электродов

На стабильность горения дуги влияет состояние рабочей поверхности вольфрамовых электродов. Она снижается при разрушении рабочей поверхности электродов и образовании вблизи нее «короны».

В ходе работы проводили оценку работоспособности вольфрамовых электродов, изменяя форму рабочей поверхности в условиях длительной работы. Для сравнения в аналогичных условиях сравнивали электроды, заточенные на конус и со сферической формой рабочей поверхности. Формы рабочих поверхностей представлены на рисунке 21.

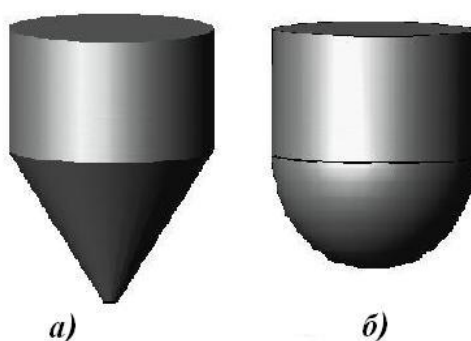


Рисунок 21 – Внешний вид электродов подвергавшихся испытанию: а) острозаточенный электрод с притуплением; б) электрод со сферической рабочей поверхностью.

Круглые электроды диаметром 3 мм затачивали на конус 30° и 90° при вершине. Притупление составляло 1 мм. Сферическую поверхность получали скруглением торцевых кромок радиусом 1,5 мм. Все электроды изготовлены из торированного вольфрама. Рабочий конец электродов заточенных на конус с углом 30° после 1 – 2 мин работы оплавился с образованием «короны» размеры которой со временем увеличивались. Через 5 – 7 мин работы электрода под «короной» наблюдается формирование сферы из оплавленного металла электрода, в дальнейшем его отрыв и разрушение торца электрода, сопровождаемое снижением стабильности горения дуги. Дальнейшее использование электрода приводило к

разрушению рабочей поверхности, что вызывает необходимость восстановления.

Электроды, заточенные на конус с углом при вершине 90° , обеспечили работоспособность выше, чем описанные ранее. Ход разрушения аналогичен электродам с углом при вершине 30° . Период работы составляет 30 мин.

Круглые электроды со сферической рабочей поверхностью показали высокую стабильность горения дуги в течении всего времени работы. В период горения дуги наблюдалось незначительное эрозионное разрушение рабочей поверхности, в дальнейшем приведшее к образованию «короны» на расстоянии 3 мм от крайней точки рабочей части электрода. Наличие «короны» не оказывает влияния на стабильность горения дуги. Последующее использование электрода не изменило форму рабочей поверхности. В целом время работы электрода составило 2 часа.

Электроды со сферической поверхностью позволяют стабилизировать положение катодного пятна, что приводит к снижению перегрузки центральной части рабочей поверхности, по сравнению с острозаточенными электродами. На вылете электрода температура распределяется равномерно, это препятствует осаждению окислов и паров металла, вызывающих образование короны. Кроме того создается возможность оттеснения окислов и паров металла от электрода потоком защитного газа.

Изменение внешнего вида рабочей поверхности и качество сварного шва оценивалось визуально по изменению внешнего вида.

Использование динамического режима горения позволяет снизить требования к форме рабочей поверхности электрода. Проведенные исследования при использовании электродов со сферической рабочей поверхностью показали, что дуга горит симметрично оси электрода, при отсутствии блуждания дуги. Положение дуги соосно с осью электрода достигается за счет протекания через дуговой промежуток кратковременных импульсов сварочного тока большого амплитудного значения. Во время

импульса тепловые процессы в электроде не успевают разогреть рабочую поверхность электрода до температуры соответствующей амплитудному значению тока. В связи с этим катодное пятно не изменяет своих размеров и положения, что позволяет концентрированно вводить тепловую энергию в изделие. Аналогичный процесс происходит и при использовании остро заточенных электродов, в первые минуты работы до момента оплавления.

Вывод по главе

Способ сварки дугой горячей в динамическом режиме позволяет получать качественные сварные швы, с концентрированным вводом тепла, обеспечивающим равную ширину лицевой и обратной ширины шва.

Исследования показали, наиболее нагруженным элементом источника питания — сварочная дуга является вольфрамовый электрод с рекомендуемыми формами рабочей поверхности.

Установлено, что при сварке дугой горячей в динамическом режиме требования к геометрии электрода с точки зрения формирования шва менее критичны.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА "ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ"

Студенту:

Группа	ФИО
1BM61	Тясто Артёму Андреевичу

Инженерная школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение 15.04.01

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с определением информацией в установке, аналитических материалах, расчетов бюллетенях, нормативно-правовых документах;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Доцент	А.Г.Данков	к.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM61	А.А.Тясто		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Суть выпускной квалификационной работы по теме «Исследование технологических свойств процесса сварки дугой, горящей в динамическом режиме» заключается в исследовании и разработке процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне, дугой горящей в динамическом режиме.

Таблица 1 - Сегментирование рынка

		Показатель		
		Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Технологические показатели качества сварного соединения	Качество сварного шва	3	2	1
	Скорость сварки	2, 3	2	1
	Возможность сварки тонколистового металла	3	2	1, 2

- 1- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горящей в динамическом режиме;
- 2- Аргонно-дуговая сварка;
- 3- Ручная дуговая сварка.

Результат сегментирования показал, что уровень конкуренции низок. Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горящей в динамическом режиме, как видно из сегментирования, хороший способ сварки, который может получать качественные сварные соединения.

К целевым рынкам, в которых будут применяться результаты данного исследования, можно отнести предприятия, работающие в разных отраслях:

нефтяной, газовой, электрической промышленности, а также в коммунальном, сельском хозяйстве и кораблестроении.

Данная выпускная квалификационная работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы для организации «Кузбассэнерго» (г. Кемерово). Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники данной организации.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство в эксплуатации	0,1	3	4	3	0,5	0,2	0,3
2. Затраты сварочного материала	0,2	5	3	4	1	0,2	1
3. Качество сварного соединения	0,1	5	4	3	0,5	0,3	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1 цена	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,25
2 Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,3
3 Конкурентно-способность работы	0,25	5	5	3	1,25	0,5	1
Итого	1	28	26	21	5	2,35	3,75

Где сокращения: Б_ф- Сварка неплавящимся электродом в аргоне дугой, горячей в динамическом режиме; Б_{к1} – Аргонно-дуговая сварка; Б_{к2}- Ручная дуговая сварка.

Анализ конкурентных технических решений определили по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (21)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является то, что метод предложенный в дипломе эффективнее, чем методы конкурентов.

5.3 SWOT – анализ

Таблица 3 - Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>С1. Отсутствие данного процесса для повышения эффективности сварки неплавящимся электродом (отсутствие конкурентов на рынке).</p> <p>С2. Широкая область применения</p> <p>С3. Использование современного оборудования</p> <p>С4. Актуальность проекта</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя</p> <p>С6. Наличие патента на разработку</p> <p>С7. Экономия электроэнергии</p>	<p>Сл.1. Развитие новых технологий</p> <p>Сл.2. Перенастройка оборудования</p> <p>Сл.3. Отсутствие квалифицированного персонала.</p>
Возможности	Угрозы
<p>В1. Получение качественных сварных соединений</p> <p>В2. Регулирование производительности</p> <p>В3. Повышение эффективности сварки неплавящимся электродом</p> <p>В4. Применения для оборудования работающего в полевых условиях.</p>	<p>У1. Появление конкурентов</p> <p>У2. Государство не даст средства для реализации темы.</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований и сертификации программы.</p> <p>У4. Незначительная зависимость от поставщика</p>

Интерактивные матрицы представлены в таблицах 1.3-1.6.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	В1	+	+	+	+	0	0	0
	В2	0	+	+	0	0	0	+
	В3	+	+	+	+	+	0	+
	В4	+	+	+	+	+	0	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: В1С1С2С3С4; В2С2С3С7; В3С1С2С3С4С5С7; В4С1С2С3С4С5С7.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Возможности проекта	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	-
	В2	+	+	-
	В3	+	+	-
	В4	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл1Сл2; В2Сл1Сл2; В3Сл1Сл2; В4Сл1Сл2.

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Угрозы проекта	Сильные стороны проекта							
		С 1	С 2	С 3	С 4	С 5	С 6	С 7
	1 У	-	-	-	-	0	-	-
	2 У	-	-	-	0	-	-	0
	3 У	0	-	-	+	0	0	0
	4 У	+	+	0	0	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У3С4;У4С1С2.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	1 У	-	0	0
	2 У	-	-	0
	3 У	0	0	0
	4 У	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У4Сл2.

5.4 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент

исследования	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Вывод по цели	Научный руководитель, студент

5.5 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (22)$$

где: $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{oji}}{Ч_i}, \quad (23)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.6 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (24)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (25)$$

где: $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 9).

После заполнения таблицы 8 строим календарный план-график (табл. 10).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания дипломной работы. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполните ли			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			t_{oji} , чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1 ,8	1 ,8	1 ,8	Руководите ль			2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1 ,8	1 ,8	1 ,8	Рук.-студ.			1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2 ,6	2 ,6	2 ,6	Студ.-рук.			1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1 ,4	2 ,8	2 ,8	Руководите ль			1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1 ,8	1 ,8	1 ,8	Руководите ль			2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	1 4	1 4	1 4	9 ,8	9 ,8	9 ,8	Студент			10	1 0	1 0	1 5	1 5	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6 ,2	7 ,2	7 ,2	Студ.-рук.			3	4	4	5	6	6
Изучение результатов	1	2	2	2	3	3	1 ,4	3	3	Студент			2	3	3	3	5	5
Проведение расчетов по теме	5	6	6	8	9	9	6 ,2	7 ,2	7 ,2	Студент			7	8	8	1 0	1 1	11
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2 ,2	2 ,2	2 ,2	Студ.-рук.			2	2	2	3	3	3
Вывод по цели	1	1	1	4	4	4	2 ,2	2 ,2	2 ,2	Студент			3	3	3	4	4	4

Таблица 10- Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ Ра- бот	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	ставление и утверждение темы	Руководитель	3	★								
2	ализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	★	◆							
3	иск и изучение материала по	Студ.-рук.	2		★							
4	бор направления исследований	Руководитель	2		◆							
5	ендарное планирование работ	Руководитель	3			◆						
6	учение литературы по теме	Студент	15			★	★	★				
7	дбор нормативных документов	Студ.-рук.	5				★	◆				
8	учение установки	Студент	6					★				
9	делирование плазмотрона	Студент	3						★			
10	учение результатов	Студент	3							★		
11	оведение расчетов по теме	Студент	10							★		
1	Анализ результатов	Студ.-рук.	3								★	◆
2												
1	Вывод по цели	Студент	4									★
3												

★ – студент; ◆ – руководитель.

5.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad (26)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 11 - Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Ис п.	Ис п.	И сп.	Ис п.	Ис п.	Ис п.	И сп.	Ис п.	Ис п.
Бумага	лист	150	100	13	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Св-ая пр-ка	кг.	0,5	0,5	0,5	80	80	80	63	63	63

Продолжение таблицы 11

ПГ,СГ,ЗГ	лит.	1	1	1	12	12	12	18	18	18
Итого								197	1978	1978

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 12 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	-	-	30	-	-	40	-	-
Итого:								40	-	-

Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 13.

Таблица 13 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнитель по категориям	Трудоём кость, чел.дн.			Заработн- ая плата, приходя щаяся на один		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.			
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3

1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	2	2	2	3,6	8	8	8
2.	Анализ актуальности	Рук.-студ.	1	1	1	4,4	5	5	5
3.	Поиск и изучение материалов	Студ.-рук.	1	1	1	4,4	5	5	5
4.	Выбор направления	Руководитель	1	2	2	3,6	4	8	8
5.	Календарное планирование	Руководитель	2	2	2	3,6	8	8	8
6.	Изучение литературы по	Студент	10	0	0	0,8	8,9	8,9	,9
7.	Подбор нормативных	Студ.-рук.	3	4	4	4,4	14,8	9,7	9,7
8.	Изучение установки	Студент	4	6	6	0,8	3,6	5,4	,4
9.	Модернизация установки	Студент	2	3	4	0,8	1,8	2,7	,6
10.	Анализ результатов	Студ.-рук.	2	2	2	4,4	9,8	9,8	,8
11.	Вывод по цели	Студент	3	3	3	0,8	2,7	2,7	,7
Итого:							69,7	4,2	5,1

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (27)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 48000 рублей, а студента 31700 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = \kappa_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (28)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 53760 рублей, студента – 35504 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (29)$$

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 14 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	48000	57000	57000	5760	6840	6840
Студент-дипломник	31700	27200	28100	3804	3264	3372
Коэффициент отчислений	0,271					
Итого						
Исполнение 1	24190,5 руб.					
Исполнение 2	25556,4 руб.					
Исполнение 3	25829,5 руб.					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (30)$$

где: $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы при первом исполнении равны: $Z_{накл} = 357807,5 \cdot 0,16 = 57249,2$ руб.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 15 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	37353	36720,5	36636,5	Пункт 3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	207000	115000	138000	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79700	84200	85100	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9564	10104	10212	Пункт 3.3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	24190,5	25556,4	25829,5	Пункт 3.3.4
6. Накладные расходы	57249,2	43452,9	47324,5	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	415056,7	315033,8	343102,5	Сумма ст. 1- 6

5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (31)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{415056,7}{415056,7} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{315033,8}{415056,7} = 0,76; I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{343102,5}{415056,7} = 0,83.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (32)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 16).

Таблица 16 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Сварочный материал	0,25	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	2	3
3. ПГ, СГ, ЗГ	0,15	4	4	4
4. Модернизация установки	0,35	4	5	5
ИТОГО	1	4,5	3,15	3,8

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,15;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 = 3,8;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i.} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}, \quad (33)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{1} = 4,55; I_{исп2} = \frac{3,15}{0,76} = 4,14; I_{исп3} = \frac{3,8}{0,83} = 4,57.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.max}} \quad (34)$$

Таблица 17 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,76	0,83
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,15	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,14	4,57
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,98

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Тясто Артёму Андреевичу

Инженерная школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение 15.04.01

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Данное исследование направлено на разработку метода повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	– Повышенная температура или влажность воздуха помещения; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; – Загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке; – Высокая яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация; – Напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки; – Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением. – Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом; – Повышенная температура поверхностей оборудования.
2. Экологическая безопасность:	Воздействие на окружающую среду сводиться к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации. Одной из причин возникновения пожара является нахождение в рабочей зоне баллона под давлением.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	–Правовые нормы трудового законодательства; –Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Тясто А.А.		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Объектом исследования является процесс сварки дугой горячей в динамическом режиме. Данное исследование направленно на разработку метода повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в среде газа аргона.

В данном разделе была задача исследовать вредные и опасные факторы на человека и окружающую среду, разработать мероприятия по предотвращению данных факторов.

При эксплуатации данного способа сварки и предлагаемого процесса на работающих действуют следующие опасные и вредные факторы:

- загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке;

- движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом;

- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов и воздуха в рабочей зоне (РЗ), особенно при сварке с подогревом изделий; Действие лучистого потока теплоты не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно - сосудистой и нервной систем.

- излишняя яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация;

- влияние шума имеет место при работе различного оборудования (вентиляторов, сварочных трансформаторов и др.);

- напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки. Воздействие опасных производственных факторов может привести к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья. Это действие

электрического тока, искры и брызги расплавленного металла, движущиеся машины, механизмы, превышение нормы газа аргона в воздухе и т.д. Наличие расплавленного металла, находящиеся баллон под давлением увеличивает опасность возникновения пожара.

6.1 Производственная безопасность

Таблица 18 - Опасные и вредные факторы при проведении процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение сварочных работ: 1) Сварка листовых заготовок; 2) Проведение ремонтных работ по заварке дефектных мест.	1.Отклонение показателей микроклимата; 2.Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3.Недостаточная освещённость рабочей зоны; 4.Загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке; 5.Высокая яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация; 6.Напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки; 7.Повышенная температура поверхностей оборудования.	1. Движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; 2. Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением; 3. Находящиеся баллон под давлением.	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ[5], ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ[6], ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ[7], ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ[8], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03[9], СанПиН 2.2.4.548–96[10], СН 2.2.4/2.1.8.562–96[11], СН 2.2.4/2.1.8.566–96[12], СП 52.13330.2011[13], СанПиН 2.2.2.540-96[14].

Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Внутренний баланс организма человека во многом зависит от внешних условий. Микроклимат помещения, в котором человек находится долго, играет существенную роль в формировании иммунитета, работоспособности, возможности комфортно отдохнуть и расслабиться. Состояние внутренней среды здания может не только плодотворно влиять на здоровье человека, но и оказывать негативное воздействие. Таким образом, чем дольше мы пребываем в неветилируемом помещении, тем сильнее это сказывается на работе нашего организма. Теперь разберем влияния каждого фактора на организм.

Температура помещения – самый важный показатель комфортности. От температуры напрямую зависит и влажность воздуха. Низкие температуры провоцируют отдачу тепла организмом человека, тем самым снижая его защитные функции. Если в помещении установлена некачественная теплотехника, то люди будут постоянно страдать от переохлаждений, подвергаться частым простудам, инфекционным заболеваниям и т.д. Очень высокая температура в помещении (более 27°C) влечёт за собой не меньшие проблемы. Борясь с жарой, организм выводит соль из организма. Такая ситуация также чревата снижением иммунитета, нарушением водно-солевого баланса, который регулирует работу многих систем в организме.

Влажность воздуха – это фактор, который в большой степени зависит от температуры. Если в помещении нет специальных увлажнителей воздуха, то чем выше температура, тем суше будет воздух. Здоровый человек, попав в помещение с сухим воздухом, почувствует дискомфорт уже через 10-15 минут. Если же человек уже простужен, он начнёт кашлять. В меру влажный воздух (мера=40-60%) создаст комфортные условия для работ и отдыха. В зимний период он способствует укреплению иммунитета, так как не позволяет пересыхать слизистой и становится уязвимой для вирусов. В летний период при комфортной влажности легче переносить жару, поддерживать здоровое состояние кожи и пр.

Скорость движения воздуха – фактор микроклимата, на который многие вообще не обращают внимания. Но дело в том, что в зависимости от температуры воздуха скорость его движения влияет на организм по-разному. Например, при температуре до 33-35 С⁰ скорость в 0,15 м/с комфортна, так как при этом воздух оказывает освежающий эффект. Если температура выше 35С⁰, то эффект будет обратным.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для категории работ легких Ia приведены в таблице 2.

Таблица 19 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения	
	Оптим.	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Повышенный уровень шума на рабочем месте.

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик оборудования для сварки изложены в ГОСТ 12.1.035–81. Шум на рабочих местах также может проникать извне через каналы вентиляции и проем двери из кабинета в коридор.

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения импульсного устройства. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБА, ГОСТ 12.1.003-2014.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём:

- 1) Изоляции источников шумов;
- 2) Проведение акустической обработки помещения;
- 3) Создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

Недостаточная освещённость рабочей зоны.

Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах помещения составляет 200 лк (СНиП 23-05-2010).

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (K_p) должен быть не больше 10%. А нормированные значения КЕО принимаются для разрядов I-III соответственно 10, 7, 5 %. Общие требования по естественной и искусственной освещенности рабочей зоны должны соответствовать - СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. Оптимальные и допустимые нормы освещенности, приведены в таблице 3

Таблица 20 - Общие требования по естественной и искусственной освещенности.

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		КЕО, еН, %		
						Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности коэффициента пульсации	комбинированном	при боковом освещении
						При системе				
						комбинированного освещения	общего освещения			

						всего	в том числе от общего		Р	К _п , %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	в	Малый Средний Большо й	Светлый Средний Темный	2500	300	750	19	10	6,0	2,0

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного фактора является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами.

Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением.

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–79. Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку;

- запрещается при включении установки.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;

- зануление – замыкание на корпус электроустановок;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- защитное разделение сетей;

- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Движущиеся часть установки для сварки неплавящимся электродом.

Источником возникновения аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом при работе с установкой, являются подвижная часть машины.

Аварии происходят, прежде всего, во время ручного устранения нарушений производственного процесса. Тем не менее, люди могут оказаться на пути движения машин и механизмов при выполнении других заданий, таких как:

- чистка,
- регулировка,
- переналадка вылета электродов,
- контроль,
- ремонт.

Наиболее распространенной, принимаемой в этой связи с целью повышения личной безопасности, является защита человека от опасных движений машины с помощью некоторых видов устройств безопасности, таких как защитные ограждения машин, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Внутренние движущиеся детали таких машин должны быть недоступны для прикосновения, а наружные движущиеся детали не должны иметь острых выступов, острые кромки должны быть притуплены.

Загазованность воздуха в результате конденсации паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке.

Утечка аргона из баллона может способствовать наступлению смерти от удушья. Это может быть связано значительным снижением в воздухе объема кислорода в замкнутом пространстве. Если объем аргона в воздухе будет превышать 70% (P3), то человек может подвергнуться, так называемому, наркозу. В связи с тем, что этот газ тяжелее воздуха, это может привести к накоплению его в помещениях, которые трудно проветривать.

Если требуется проводить работы в среде с аргоном, то в этом случае рекомендуется использовать противогазы и изолирующие приборы, проветривать помещение.

Для улавливания конденсата паров расплавленного металла, защитного газа и покрытия электродов при аргонодуговой сварке у места его образования при автоматической электросварке и наплавке изделий следует применять поворотно-подъемные наклонные панели одно или двухстороннего равномерного всасывания. Низ панелей необходимо располагать над местом сварки на расстоянии не выше 350 мм. Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, при сварке в инертных газах – должен составлять не более 0,3 м/с.

Высокая яркость при сварке, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.

Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых ослепительно ярких световых лучей и невидимых глазом так называемых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Интенсивность лучистой энергии в основном зависит от силы сварочного тока и величины напряжения. Видимые световые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологически переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи обладают главным образом тепловым эффектом, их интенсивность зависит от мощности дуги. При современных способах сварки тепловая радиация на рабочем месте может составлять 0,5—6 кал/см²*мин. Источниками тепловой радиация являются дуга и в меньшей степени нагретый металл.

Учитывая, что при электросварке на сварщика действуют не только прямая ультрафиолетовая радиация, но и рассеянная, отраженная от окружающих поверхностей, необходимо окрашивать стены кабин и

сварочных цехов, переносные ширмы в светлые матовые тона с применением цинковых белил, желтого крона или титановых белил, которые поглощают ультрафиолетовые лучи. Кожа и глаза сварщика должны быть защищены от воздействия лучей дуги. Кожа тела защищается специальной рабочей одеждой, лицо защищается щитком или шлемом, кисти рук — рукавицами, а глаза — специальными стеклами-светофильтрами, вставляемыми в щиток или шлем. В масках или шлемах между темным и прозрачным стеклами должен быть зазор 0,5—1 мм, чтобы защитить глаза от перегрева.

Напряженность труда в связи с полуавтоматическим способом сварки.

Напряженность труда — характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

Организация и проведение мероприятий по снятию нагрузки осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов. К некоторым таким мерам относятся: внедрение профилактических мероприятий, способствующих снижению монотонности работы, разработка рациональных (физиологически обоснованных) режимов труда и отдыха (оздоровительная физкультура, физкультпаузы и др.), снижение норм выработки и др.

Повышенная температура поверхностей оборудования.

При выполнении процессов сварки, резки, наплавки, напылении и пайки металлов на работающих может воздействовать и такой вредный производственный фактор как повышенная температура поверхностей оборудования.

При сварке повышенной температурой обладают: поверхность вольфрамового электрода, кромки соединяемых деталей (деталь). Температура электрической дуги достигает 4000°С при этом свариваемые детали значительно нагреваются и прикосновение к ним вызывает ожог.

Горячая деталь внешне ничем не отличается от холодной и поэтому не воспринимается как источник опасности.

Работник при производстве сварочных работ должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты. В процессе повседневной деятельности для исключения данного вредного фактора необходимо:

- применять в процессе работы сварочные аппараты, другое оборудование в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей;

- не пользоваться приспособлениями, оборудованием обращению с которым он не обучен и не проинструктирован;

- поддерживать порядок на рабочих местах, не допускать нарушений правил складирования материалов и конструкций;

- быть внимательными во время работы и не допускать нарушений требований безопасности труда;

- пользоваться средствами индивидуальной защиты.

- пользоваться контактными термопарами, термокарандашами или термолентами;

6.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

При выполнении работы образовывались следующие отходы: огарок вольфрамового электрода, которые в ходе их непригодности выкидывались в контейнер.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

При написании дипломного проекта была выявлена возможная ЧС, это пожар, аргон – вещество негорючее, но при нагревании происходит повышение давления, что может привести к взрыву.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;
2. курить только в отведенных для курения местах;
3. проверять уровень нормы газа аргона в помещении, проветривать помещение;
4. в случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу;
5. сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности в помещениях имеются рубильники для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Основной задачей регулирования проектных решений разрешается за счет соблюдения законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

При выполнении сварочных работ необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ. Согласно Приказу Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г., необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Требования к размещению машин для сварки, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86.

– Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами или экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

– Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

– Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

– Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

– Ширина проходов между установками должна быть: при расположении рабочих мест друг против друга для точечных и шовных машин - не менее 3 м, при расположении машин тыльными сторонами друг к другу - не менее 1 м, при расположении машин передними и тыльным и сторонам и друг к другу - не менее 1,5 м.

– Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

– При установке однопостового источника питания у стены расстояние от стены до источника должно быть не менее 0,5 м.

– Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высоты траектории 2.2.м.

– Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации,

оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.

- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.

- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).

- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.

- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.

- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

- При выполнении автоматической сварки на установке, сварочная головка которой расположена на высоте более 1,6 м от уровня пола, должна

быть предусмотрена рабочая площадка для оператора. Площадка должна иметь неэлектропроводное покрытие и ограждение в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.059-89.

- Скорость всасывания для сварки в инертных газах и смесях не более 0,3 м/с, для сварки в активных газах и их смесях, а также для сварки в смесях активных газов с инертными не более 0,5 м/с.

- Эксплуатация баллонов, контейнеров, со сжиженным газом и рамп должна осуществляться в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

- Место производства работ, а также нижерасположенные места должны быть освобождены от горючих материалов в радиусе не менее 5 м, а от взрывоопасных материалов и установок - 10 м.

- Рабочие сварочных профессий должны быть обеспечены спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты с учетом условий проведения работ в соответствии с типовыми отраслевыми нормами, утвержденными в установленном порядке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне и методов повышения его эффективности, как внутренних так и внешних. Выявлено, что наиболее перспективным методом повышения эффективности является перевод горения сварочной дуги в динамический режим. Для реализации этого способа разработана феноменологическая модель сварочной дуги в динамическом режиме, а так же модель сварочной ванны. Технологические исследования показали устойчивость горения дуги, широкие регулировочные возможности и хорошее формирование шва с концентрированным вводом тепла. Показано, что при помощи дуги горящей в динамическом режиме можно формировать швы с заданными размерами. Результаты технологических исследований использованы на кафедре для разработки технических средств.

Анализ интегральных показателей эффективности показал, что реализация разработанной технологии является более эффективным вариантом с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Также рассмотрены вопросы социальной ответственности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славин Г. А., Столпнер Е. А., Некоторые особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока // Сварочное производство. – 1967г. – №2. – С. 3-5.
2. Кулишенко Б. А., Еремин Е. Н. Влияние углекислого газа на некоторые технологические свойства дуги при сварке неплавящимся электродом // Сварочное производство. – 1978. - №2. – С. 38-39.
3. Бучинский В. Н. Стабильность горения дуги при сварке в смесях аргона с углекислым газом и кислородом // Автоматическая сварка. – 1982. - №6. – С. 69.
4. Коротов А. Т., Плиско В. П. Полуавтоматическая сварка в смеси аргона и углекислого газа трубопроводов из стали 0X18H10T // Автоматическая сварка. – 1969. - №3. – С. 69.
5. Новокрещенов М. М. [и др] Влияние азота на свойства столба сварочной дуги в аргоне. // Сварочное производство. – 1974. - №3. – С. 1-3.
6. Патон Б. Е. [и др] Контракция сварочной дуги флюсом при сварке вольфрамовым электродом в аргоне. // Автоматическая сварка. – 2000. - №1. – С. 3-9.
7. Савицкий М. М., Кушниренко Б. Н., Олейник О. И. Особенности сварки сталей вольфрамовым электродом с активирующими флюсами (ATIG-процесс) // Автоматическая сварка. – 1999. - №12. – С. 20-28.
8. Савицкий М. М. [и др.] Применение активирующего флюса при сварке неповоротных стыков трубопроводов на монтаже атомных электростанций // Автоматическая сварка. – 1981. - №11. – С.71-72.
9. Юценко К. А., Коваленко Д. В., Коваленко И. В. Применение активаторов при дуговой сварке вольфрамовым электродом в инертных газах сталей и сплавов // Автоматическая сварка. – 2001. - №7. – С. 37-43.

10. Казаков Ю. В. [и др.] Влияние активирующих флюсов на строение сварочной дуги, горящей в аргоне. // Сварочное производство. – 1985. - №4. – С. 30-32.
11. Бурдаков С. М., Чернов А. В., Полетаев Ю. В., Полежаев С. В. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения. // Сварочное производство. – 2001. - №11. – С. 13-16.
12. Селянников В. Н., Блинков В. А., Казаков Ю. В., Баженов В. И. О формировании сварного шва в продольном магнитном поле при аргонодуговой сварке. // Сварочное производство. – 1975. - №11 – С. 5-7.
13. Болдырев А. М., Биржев В. А. Влияние продольного магнитного поля на проплавляющую способность сварочной дуги прямой полярности // Сварочное производство. – 1982. - №4. – С. 10-11.
14. Биржев В. А., Болдырев А. М. О влиянии продольного магнитного поля на сварочную дугу прямой полярности // Автоматическая сварка. – 1982. - №1. – С. 17-19.
15. Чернышев Г. Г., Григоренко В. В., Киселев О. Н. Математическая модель аргонодуговой сварки в квадрупольном магнитном поле // Сварочное производство. – 1989. - №8. – С. 31-33.
16. Бертинов А. И., Мизюрин С. Р., Сериков В. А., Геворкян Р. Л. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. // Электричество. – 1967. - №8. – С. 54-61.
17. Бертинов А. И., Мизюрин С. Р., Ермилов М. А., Сериков В. А., Хомин В. Д. К расчету главных размеров синхронного генератора работающего на импульсную нагрузку. // Электричество. – 1968. – №12. – С. 29-34.
18. <http://www.amfilakond.ru/prim2.shtml> - Все о конденсаторах. Применение и эксплуатация.

19. Легостаев В. А., Пентегов И. В. Энергетические характеристики индуктивных накопителей для сварки. // Автоматическая сварка. – 1973. - №3. – С. 35-39.
20. http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/ind_emk.html - Индуктивности и емкости.
21. Некрасов В. И., Гаврилов Г. Н. Некоторые особенности импульсного разряда аккумуляторной батареи. // Электричество. – 1968. – №12. – С. 82-83.
22. Дитрих Берндт Доклад на тему «Конструкторский уровень и технические границы применения герметичных батарей. Сравнение герметичных и герметизированных батарей». Эрланга. – 1993.
23. Сипайлов Г. А., Ивашин В. В., Лоос А. В. Генератор больших импульсных мощностей со ступенчатой или трапецеидальной формой тока. // Электричество. – 1967. – №5. – С. 71-75.
24. Зайцев А. И., Князьков А. Ф. О формировании импульсов тока. Доклады к 1-ой конференции по автоматизации производства. Томск. - 1969. – С. 97-104.
25. Пат. РФ 2294269, МПК В23К 9/09, Н03К 3/53. Устройство для формирования импульсов сварочного тока. Князьков А. Ф., Князьков С. А., Лолу Я. С., Проняев А. Б. – Заявл. 27.10.2005.
26. Ицкохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства / – М. : Советское радио. 1972. – 592 с.
27. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.
28. Акулов А. И., Чернышов Г. Г., Елистратов А. П. Некоторые особенности сварки корневых швов в газовых смесях // Сварочное производство. – 1975 – Сварочное производство. – № 1. – С. 18-19.
29. Полосков С. И., Ищенко Ю. С., Букаров В. А. Анализ факторов, определяющих формирование сварочной ванны при орбитальной сварке

неповоротных стыков труб (обзор) // Сварочное производство. – 2003. – №2. – С. 11-19.

30. Рыкалин Н. Н., Бекетов А. И. Расчет термического цикла околошовной зоны по очертанию плоской сварочной ванны // Сварочное производство. – 1967. – №9. – С.22-25.

31. Ерохин, А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.

32. Лесков, Г. И. Электрическая сварочная дуга / – М. : Машиностроение, 1970. – 335 с.

33. Гвоздецкий В. И., Зражевский В. А. Численное решение уравнения баланса энергии столба цилиндрической дуги // Автоматическая сварка. – 1975. – №6. –С.5-8.

34. Лелевкин В. М., Мечев В. С., Семенов В. Ф. Двухтемпературная модель столба сварочной дуги //Автоматическая сварка. – 1990. – №6. – С.10-14.

35. Пентегов И. В. Математическая модель столба динамической электрической дуги // Автоматическая сварка. – 1976. – №6. – С.8-12.

36. Шельгазе М. Математическая модель переходных процессов в сварочной дуге и ее исследования // Автоматическая сварка. – 1971. – №7. – С.12-14.

37. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / – М. : Машиностроение, 1989. –

264

с

Приложение А
(обязательное)

Раздел (1)
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА СВАРКИ
НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Тясто Артём Андреевич		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Слободян М. С.	К. Т. Н.		

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Игна О. Н.	Д. П. Н.		

1. LITERARY REVIEW OF THE CONDITION OF THE WELDING QUESTION OF WELDING ELECTRODE IN ARGON.

Nowadays, when the requirements to the quality of the welding product are increasing, the problem of choosing welding equipment and the method of welding metals is becoming more and more in demand. The guaranteed fusion of the edges of the welded elements cannot be considered as a single measure when choosing a certain welding method. It is necessary to pay special attention to such characteristics as productivity, the chemical composition of the weld metal, the size of the heat-affected zone, the reduction of total production costs.

From the existing welding processes, the most effective is welding with a non-consumable electrode in argon.

1.1 Description process of welding with a non-consumable electrode in an inert gas environment

The essence of the method of welding in protective gases is that the arc burns in a protective gas flow that pushes air from the weld zone and protects the molten metal from the harmful effects of gases that is contained in the atmosphere.

The following inert gases are used as the protective gas: argon and helium, as well as active gases and gas mixtures: hydrogen, a mixture of hydrogen and nitrogen, carbon dioxide, a mixture of argon and carbon dioxide, a mixture of argon and oxygen. Protective gas is selected depending on the materials to be welded.

Welding in protective gases can be a consumable or non-consumable electrode. When welding with a consumable electrode, the electric arc burns between the electrode wire fed into the welding zone and the product. The arc melts the electrode wire and the base metal. When welding with non-consumable electrode, the electric arc burns between the non-consumable carbon or tungsten electrode and the product. Next, we will consider in detail the process of welding

with a non-consumable electrode in an inert gas environment.

When welding with non-consumable electrode in shielding gas, a protective gas is supplied through the nozzle through the nozzle, which protects the non-melting electrode and molten metal from the action of active gases of the atmosphere that is shown in Fig. 1. Due to the high arc burning temperature, the edges of the welded product begun to melt. The molten metal of the weld pool crystallizes and forms a welding pool.

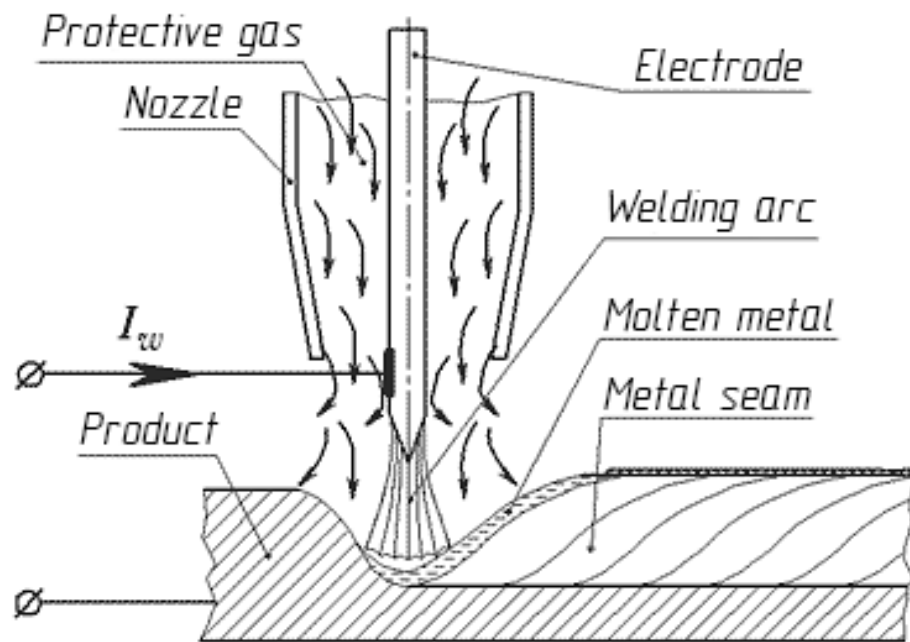


Figure 1 - Welding diagram of non-consumable electrode

Non-melting electrode is made of graphite, tungsten, copper, copper with addition of refractory metal - tungsten, zirconium, and hafnium.

Protective gas must be inert to both the electrode metal and the weld metal. The flow of inert gas surrounds the welding zone and protects the molten metal, electrode, and filler rod from the effects of oxygen and nitrogen, which were heated to a high temperature. In addition, a continuous flow of inert gas reduces the heat-spreading zone near the seam. As protective gas for welding with a tungsten electrode, argon, helium, a mixture of argon and helium are used. For welding copper with a copper electrode or a copper electrode with an addition of hafnium (zirconium), nitrogen can be used. For the reasonable use of expensive inert gases (Ar, He) in the welding of steels create a combined protection.

The effect of inert gas creates special conditions for electro-physical processes in the electric arc, which contribute to increasing the stability of the arc. The arc rectifying action also affects electrophysical properties of the arc. Rectifying action of the arc, which formed between the electrode and the article, depends on the size and material of the product.

Welding can be performed with and without additive metal. Additive metal can be used before or during the welding process or, as in the case of oxygen-acetylene welding, by melting the filler wire of the desired composition.

At a large thickness of the metal, to ensure the penetration of the main seam, welding is conducted along the gap or with cutting edges with the addition of additive metal.

1.2 Advantages and disadvantages of argon-arc welding by non-consumable electrode in argon

Advantage of argon-arc welding with non-consumable electrode:

- insignificant heating of metal surface;
 - welding of non-ferrous metals;
 - use of the welding method with the use of argon allows you to perform welding work qualitatively;
 - possibility of processing metals that cannot be welded in any other way;
 - quality smooth and thin seam;
 - possibility of doing work in the home without a profile education;
 - possibility of obtaining a metal seam with a share of the base metal from 0 to 100%;
 - changing the feed rate and the angle of inclination, profile, fill filler brand, it is possible to regulate the chemical composition of the weld metal and geometrical parameters of the weld.

Disadvantages of argon-arc welding with non-consumable electrode in argon:

- low efficiency of electrical energy use (efficiency from 0.40 to 0.55);
- need for devices that provide initial excitation of the arc;
- high cooling rate of the welded joint;
- small amount of additional equipment;
- low performance;
- impossibility of full protection of the seam in a draft or a strong wind.

1.3 Methods of increasing the efficiency of the process of welding with a non-consumable electrode.

There are tendencies in the development of measures that improve the efficiency of the process of welding with a non-consumable electrode in argon. This is due to the fact that the performance is weak.

Various methods are known for increasing efficiency of welding by narrowing column of arc and increasing its melting capacity. All of them can be divided into internal and external. The internal ones are based on the narrowing of the conduction band due to the development of oxidation-reduction reactions in the welding zone by changing oxidation potential of the protective gas. The compression of a freely burning arc is established and maintained by supplying carbon dioxide, oxygen, nitrogen, and halide compounds to protective gas (argon).

So the authors of the works recommend to use a mixture of argon with carbon dioxide to 10% to improve the formation of the seam, improve the mechanical properties. The addition of CO_2 makes it possible to increase the thermal characteristics of the arc and the efficiency, because of the decrease in arc column plasma. This leads to an increase in the pressure on the weld pool and the depth of penetration with a decrease in the width of the seam[2 – 4]. However, the

Ar + CO₂ mixture is oxidative, which adversely affects the stability of the tungsten electrode [3]. When using electrodes from pure tungsten, the working surface melts with the formation of a drop and its subsequent detachment and transfer to a molten bath. Use of rare-earth-metal-doped electrodes has a different character of failure. On the working surface, during burning of the arc, a corona is formed and erosion destruction is simultaneously observed. As the arc burns, erosion destruction of the electrode increases and adversely affects the quality, shape and mechanical properties of the weld. Addition of nitrogen in a volume of 3 - 4% of the total amount will reduce the hydrogen content in the weld metal seam. Visually, we can estimate the parameters of the arc column. In comparison with a freely burning arc, the arc burning in the mixture has a sharply outlined pole and a torch [5]. Exceeding the percentage of nitrogen affects the mechanical properties of the welded seam.

Internal methods include the use of halogen compounds - activating fluxes [6]. A considerable number of works have been devoted to the investigation of the effect of fluxes on energy properties of arc [5 - 10, etc.]. In all the works, an increase in smelting capacity, a concentration of heat flux and an increase in thermal efficiency were established. The use of activating fluxes, in comparison with previously presented internal methods, has disadvantages such as additional costs for fabrication, application and disposal. In addition, individual components of fluxes can be dangerous for welder and require careful application.

The disadvantages of all internal methods are that they do not allow controlling the heat input during welding, which complicates their application (application and removal of fluxes, production of gas mixtures, etc.).

External methods are based on changes in the physical parameters of the arc due to the special preparation of surface of the electrodes, effect of external magnetic fields and imposition of additional high-frequency voltage and the use of impulse devices.

It is known that the superposition of high-frequency voltage contributes to the stability of the arc discharge, due to compression of the column of the arc and

increasing the concentration of its thermal power [11]. When a high-frequency voltage is applied, a SKIN layer is formed. On this layer, there is an oscillatory motion of electric charges with a frequency equal to the frequency of the superimposed voltage. The resulting electric field prevents the radial movement of electrons from the cathode. In the central part of the column of the arc, a large concentration of charges is formed, which contributes to an increase in the degree of ionization and temperature of the plasma and creates the effect of compression of the arc by an electromagnetic high-frequency field. A consequence of this is a reduction in the cross section of the arc and an increase in the power of the column of the arc.

Imposition of an external longitudinal or transverse magnetic field leads to the interaction of moving charged particles and the intrinsic magnetic field of the arc. The superposition of magnetic fields leads to compression of the column of the arc, with an increase in depth of penetration, a reduction in number of undercuts, sagging of underside of the seam is excluded, and its appearance is improved [12 – 15]. One of the methods is the use of modulated current. When pulsed arc welding, short current pulses are superimposed on arc, during which metal of the weld pool melts. Welding arc penetrates through entire thickness of the welded plate, forming a bath with a crater of the «keyhole» type. During pause, welding current decreases, in which temperature is lowered and the heat of the metal in the weld pool is equalized. At the end of the electrode, the hot spot needed for stable arc burning is retained. Crystallization of molten metal occurs during a pause, with a decrease in arc power. The amount of energy introduced into metal can be controlled by varying the duration of current pulses. A simpler and more reliable way of controlling process by the pulse duration.

Due to through penetration of the base metal, the surface of the welded seam has a scaly form, and because of concentrated heat input, heat-affected zone decreases, which leads to an improvement in the mechanical properties of the weld metal.

1.4 Arc – characteristics of the power supply

A power source for arc welding and a welding arc is a unified power system in which each of them performs its specific functions. This system is generally represented in Figure 3.

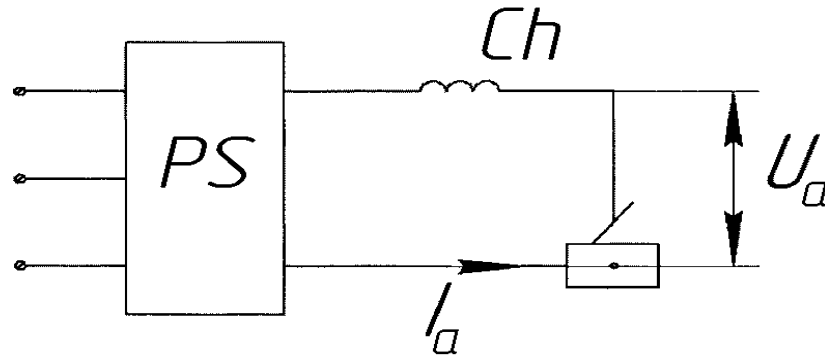


Figure 3 - Power supply system - arc (U_a - arc voltage, I_a - arc current, Ch - choke, PS - welding power supply)

The main task of the power supply is to convert parameters of the electrical network to the parameters necessary to power the welding arc.

The main consumer of energy is the welding arc. In the welding arc, electrical energy is converted into thermal energy, and in some cases, it is necessary to take into account the processes of heat and mass transfer through the arc gap.

As one of the elements of the electrical circuit, the welding arc is a nonlinear element. In general, the current-voltage characteristic of the welding arc has a V-shaped characteristic.

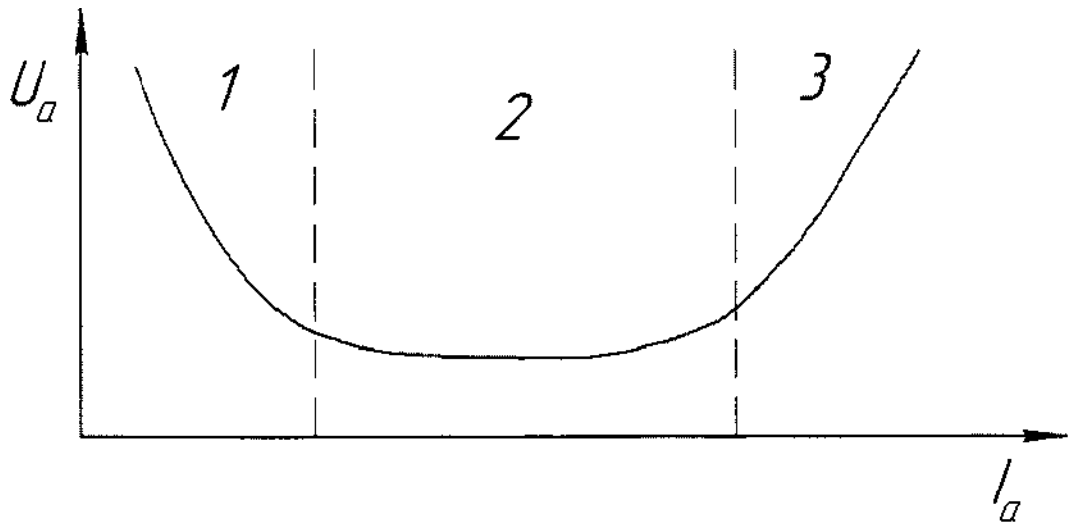


Figure 4 - General view of the volt ampere characteristic of the welding arc.

There are three regions in the picture:

1 – region of small regimes (0.5 -10) A, where shape of characteristic is incident.

2 – region of medium modes with moderate current densities (welding with coated electrodes, non-consumable electrode in argon, etc.). In this region, the voltage $U_a = E_a$; E_a - passive counter - EMF welding arc.

3 – Weld area at high current densities. In this region, the voltage of the arc gap can be given in the form:

$$U_a = E_a + I_a R_a; \quad (13)$$

where R_a - dynamic resistance of the welding arc.

When implementing the welding process, we can distinguish two main points of the process:

- a. arc excitation.
- b. stable arc combustion, in which a weld seam is formed.

In terms of the mode of operation, two stages are distinguished:

a. state of steady equilibrium, when I_a and U_a remain unchanged for a long time. The relationship between the current and the arc voltage in this state is called the statistical volt-ampere characteristic of the arc. The relationship between the current and the voltage of the power supply is called the temporary VI characteristic of the power supply.

b. state of unsteady equilibrium (dynamic mode, with arc excitation or perturbations). The relationship between U_a and I_a is called the dynamic characteristic of the arc, and the relationship between the current and the source voltage is the dynamic characteristic of the source, which differ significantly from the static one.

1.5 Dynamic arc burning on DC

The increase in the efficiency of the process of welding with a non-consumable electrode in argon is the burning of an arc in a dynamic mode, which ensures the contraction of the arc column and the adjacent active spots adjacent to it. If the arc is excited at a constant current, combustion process is established $(1-10) \cdot 10^{-5}$ seconds after it is excited.

With a stable arc discharge, the dimensions of the column of the arc and the active spot on the welded metal, as well as the energy distribution in it, are determined by discharge power, composition of gas atmosphere, thermophysical and geometric parameters of electrodes. It is known that the arc discharge acquires the properties of a stable discharge through $(1-10) \cdot 10^{-5}$ seconds after its excitation. Time constant of the current rise is 0.002 seconds and is practically independent of the material and thickness of the electrodes.

When arc is energized by repeated current pulses, time for the establishment of a stable discharge can change due to incomplete deionization of the arc discharge in the intervals between pulses. The value of this time interval is due to the completeness of the ionization process during the pulse and deionization into the pause, which in turn depend on the energy and time characteristics of the process.

It can be assumed that if the duration of the current flow between the electrodes is less than the duration of the transition of the arc discharge to a stable state, the diameter of the active spot on the metal does not reach a value

corresponding to the instantaneous values of the current and the voltage of the pulses. In this case, the arc discharge will be characterized, under equal other conditions, by a higher density of input energy and a greater penetrating power. In the future, this mode of welding arc welding will be called dynamic mode.

The melting power of the arc was estimated from the depth and width of the penetration, if the thermal energy introduced into the metal is constant in different modes. The effective thermal power was determined by calorimetry.

To power the arc, specially designed sources of short-time current pulses are used.

Typical current and voltage oscillograms are shown in Figure 5.

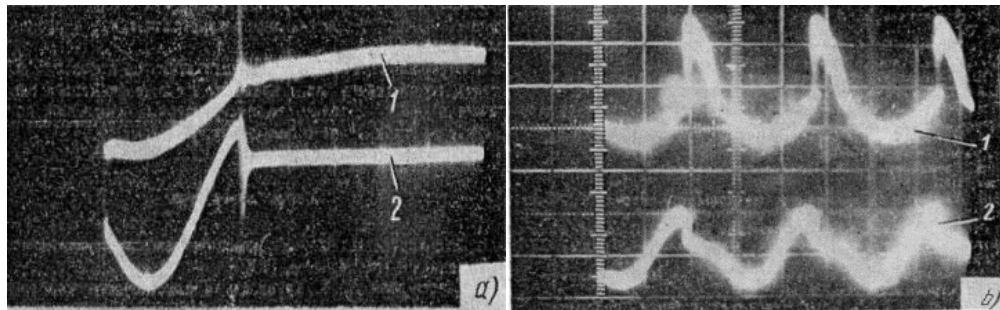


Figure 5 - Oscillograms of current (a) and arc voltage (b) [1]

Conclusion.

The analysis of internal and external methods of increasing the efficiency of the process of welding with a non-consumable electrode in argon showed limited possibilities for practical application. This is due to their constructive technological complexity. At the same time, the process of arc welding burning in a dynamic mode is the most free of these difficulties, but the least researched and more promising one. This process, which is realized with pulse modulation of the welding current, makes it possible to counteract the column of the arc and the active spots adjoining it, so that the heat can be concentrated into the product. However, the welding technological properties of the arc burning dynamically in the scientific and technical literature are practically not reflected. In view of the merits of such a process and the promise of its application, the investigation of such a process is relevant.

Based on this this, the purpose of this paper can be formulated as follows: to develop a process for welding a non-consumable electrode in argon by an arc burning in a dynamic mode and technical means for its implementation.

Objectives of the study:

- a) Research and development of the arc welding process in a dynamic mode;
- b) Development of the experimental procedure;
- c) Investigation of the technological properties of an arc burning in a dynamic mode.

CONCLUSION

As a result of investigation of the welding process by non-consumable electrode in argon and methods of increasing its efficiency (internal and external). It is revealed that the most promising method of increasing the efficiency is the translation of welding arc welding into a dynamic mode. To implement this method, a femiological model of the welding arc was developed in dynamic mode and a weld pool model. Technological studies have shown the stability of arc burning, wide adjustment possibilities and a good weld formation with concentrated heat input. It is shown that with the help of an arc burning in a dynamic mode, it is possible to form seams with given dimensions. The results of technological research were used at the department to develop technical means.

Analysis of integrated performance indicators showed that the implementation of the developed technology is a more efficient option from the standpoint of financial and resource efficiency.

Issues of social responsibility were also considered.